

# **Tecnologías Sostenibles sobre la gestión del agua: La desalación. Estudio del caso en la zona costera del Mediterráneo.**

Ainhoa Albaina Urcelay



Directora del proyecto: Beatriz Escribano

Ingeniería Técnica Electrónica  
Escuela Universitaria de Ingeniería

Junio 2007

Quiero agradecer a mi tutora Beatriz Escribano por la ayuda y apoyo en todo el proyecto.  
A Saioa, Samantha, Luis, Álex, Jordi, M.Luz, Fermín, Héctor, Ricar y familia. Dedicárselo a todos ellos. Gracias por todo el cariño que me habéis mostrado durante estos años.

**“Impidamos que una sola gota de agua que caiga en la tierra, llegue al mar sin haber servido a la gente”**

ParaKrama Bahn I, rey de Sri Lanka. (1153-1186).

<b>1.- INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2.- OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
<b>3.- VISIÓN GLOBAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS.....</b>	<b>6</b>
3.1.- DISTRIBUCIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL PLANETA.....	6
3.1.1.- Cifras sobre la distribución de agua dulce .....	7
3.2.- LA LLUVIA Y LA DISTRIBUCIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS.....	9
3.2.1.- Ciclo hidrológico.....	9
3.2.2.- Cifras del ciclo hidrológico.....	13
3.3.- CALENTAMIENTO GLOBAL.....	14
3.3.1.- Consecuencias del calentamiento global.....	14
3.3.1.1.- Cambio de clima por el calentamiento global.....	15
3.3.1.2.- Calentamiento global en la salud .....	15
3.3.1.2.- Calentamiento global en el agua .....	16
3.3.1.3.- Calentamiento global en el ecosistema .....	17
3.4.- USOS DEL AGUA DULCE .....	17
3.4.1.- Uso del agua dulce en la agricultura .....	19
3.4.2.- Uso de agua en la industria .....	20
3.4.2.1.- Agua como producción de otras fuentes de energía.....	20
3.4.3.- El agua dulce y los servicios domésticos .....	21
3.4.4.- El agua dulce en el saneamiento .....	21
3.5.- CONFLICTOS SOCIALES Y BÉLICOS SOBRE EL AGUA .....	22
3.5.1.- La situación actual sobre conflictos hídricos .....	27
3.14.- CONCLUSIONES .....	28
<b>4.- PROCESOS DE DESALACIÓN .....</b>	<b>29</b>
4.1.- ¿QUÉ ES LA DESALACIÓN? .....	29
4.2.- ¿QUÉ ES UNA PLANTA DESALADORA?.....	29
4.3.- TECNOLOGÍAS UTILIZADAS. PLANTAS DESALADORAS .....	30
4.3.1.- Procesos de destilación .....	31
4.3.1.1.- Destilación súbdita por efecto Flash Multietapa.....	32
4.3.1.2.- Destilación por múltiple efecto .....	37
4.3.1.3.- Destilación por Compresión térmica de vapor.....	39
4.3.1.4.- Compresión mecánica de vapor .....	40
4.3.1.5.- Destilación solar.....	42
4.3.2.- Procesos de desalación por Membranas.....	46
4.3.2.1.- Electrodialisis .....	46
4.3.2.2.- Ósmosis inversa .....	48
4.3.2.2.1.- Antecedentes histórico – científicos.....	48
4.3.2.2.2.- Plantas desaladoras por Ósmosis Inversa .....	52
4.3.2.2.3.- Tecnología de membrana .....	71
4.3.2.2.4.- Comparación de la Electrodialisis.....	79
4.3.3.- Desalación por Congelación.....	81
4.3.3.1.- Formación de Hidratos .....	82
4.3.4.- Proceso de Intercambio iónico con resinas .....	82
4.3.5.- Nuevas tecnologías.....	83
4.3.5.1.- Uso energético en las desaladoras.....	83
4.3.5.2.- Desaladoras Marinas flotantes alimentadas por energía eólica.....	85
4.3.5.3.- Desaladoras por presión natural. Vázquez Figueroa.....	87
4.3.5.4.- Desalación nuclear .....	87

4.3.5.5.- Desaladora con energía eólica, solar e hidráulica .....	89
4.4.- CONCLUSIONES .....	90
<b>5.- CALIDAD DE LAS AGUAS SEGÚN USOS.....</b>	<b>92</b>
5.1.- CALIDAD DEL AGUA BRUTA APORTADA.....	92
5.2.- CALIDAD REQUERIDA DEL AGUA .....	94
5.3.- CALIDAD DEL AGUA OBTENIDA CON LA DESALACIÓN .....	96
5.4.- USOS DEL AGUA ENVASADA .....	98
5.5.- USOS DEL AGUA DESALADA.....	103
5.6.- SABOR DEL AGUA DESALADA .....	106
5.7.- CONCLUSIONES .....	108
<b>6.- GENERALIDADES DE LA DESALACIÓN .....</b>	<b>109</b>
6.1.- DESALACIÓN EN EL MUNDO.....	109
6.1.1.- Oriente Medio .....	113
6.1.1.1.- Irán .....	116
6.1.1.2.- Israel.....	117
6.1.1.3.- Jordania .....	118
6.1.1.4.- Egipto .....	119
6.1.1.5.- Turquía .....	120
6.1.1.6.- Kuwait.....	121
6.1.1.7.- Arabia Saudita.....	123
6.1.1.8.- Emiratos Árabes Unidos (UAE).....	124
6.1.2.- África.....	125
6.1.3.- América .....	127
6.1.4.- México.....	128
6.1.5.- Asia y Oceanía .....	129
6.1.6.- Europa .....	131
6.1.6.1.- España .....	131
6.2.- PRINCIPALES EMPRESAS FABRICANTES .....	140
6.3.- CONCLUSIONES .....	142
<b>7.- DESALADORAS EN LA COSTA MEDITERRÁNEA .....</b>	<b>144</b>
7.1.- INTRODUCCIÓN.....	144
7.2.- CATALUÑA .....	147
7.2.1.- Geografía.....	148
7.2.2.- Ríos .....	151
7.2.3.- Climatología.....	152
7.2.4.- Población.....	154
7.2.5.- Agricultura, ganadería y pesca .....	157
7.2.6.- Economía.....	158
7.2.7.- Recursos Hídricos .....	159
7.2.7.1.- Demanda de agua total actual.....	159
7.2.7.2.- Distribución territorial del agua .....	161
7.2.8.- Desaladoras en Cataluña .....	162
7.3.- COMUNIDAD VALENCIANA.....	165
7.3.1.- Geografía.....	166
7.3.2.- Ríos de la Comunidad Valenciana .....	167
7.3.3.- Climatología.....	167
7.3.4.- Población.....	169
7.3.5.- Agricultura, ganadería y pesca .....	172

7.3.6.- Economía.....	174
7.3.7.- Recursos hídricos .....	175
7.3.8.- Desaladoras en la Comunidad Valenciana .....	177
7.3.8.1.- Desaladoras de Alicante .....	179
7.3.8.1.1- Desaladora de Alicante.....	179
7.3.8.1.2.- Desaladora Ampliación Alicante I (Canal de Alicante I) .....	182
7.3.8.1.3.- Desaladora de alicante II.....	183
7.3.8.1.4.- Desaladora de Denia .....	184
7.3.8.1.5.- Desaladora de Torrevieja .....	185
7.3.8.1.6.- Desaladora Campillo/Mutxamel .....	186
7.3.8.1.7.- Otras desaladoras en Alicante .....	187
7.3.8.2.- Desaladoras de Castellón .....	189
7.3.8.2.1.- Desaladora de Moncófar .....	189
7.3.8.2.2.- Desaladora de Oropesa.....	191
7.3.8.3.- Desaladora de Valencia.....	192
7.3.8.3.1.- Desaladora de Sagunto .....	192
7.4.- MURCIA.....	194
7.4.1.- Geografía.....	194
7.4.2.- Ríos .....	198
7.4.3.- Climatología.....	199
7.4.4.- Población.....	201
7.4.5.- Agricultura, ganadería y pesca .....	204
7.4.6.- Economía.....	206
7.4.7.- Recursos hídricos .....	206
7.4.8.- Desaladoras .....	208
7.4.8.1.- Desaladora de San Pedro del Pinatar I .....	211
7.4.8.2.- San Pedro del Pinatar II.....	212
7.4.8.3.- Valdelentisco.....	214
7.4.8.4.- Desaladora de Águilas/Guadalentín .....	215
7.4.8.5.- Desaladora Ampliación Águilas .....	219
7.5.- ANDALUCÍA.....	220
7.5.1.- Geografía.....	220
7.5.2.- Ríos .....	221
7.5.3.- Climatología.....	222
7.5.4.- Población.....	224
7.5.5.- Agricultura, ganadería y pesca .....	226
7.5.6.- Economía.....	229
7.5.7.- Recursos hídricos Andalucía.....	229
7.5.8.- Desaladoras en Andalucía .....	233
7.5.8.1.- Desaladora de Carboneras I, Alicante .....	234
7.5.8.2.- Otras desaladoras en Almería.....	237
7.5.9.- Desaladoras de Málaga .....	237
7.5.9.1.- Desaladora El Atabal.....	238
7.5.9.1.- Desaladora de Marbella.....	238
7.6.- CONCLUSIONES .....	240

<b>8.- IMPACTOS DE LAS DESALADORAS.....</b>	<b>247</b>
8.1.- ASPECTO SOCIAL.....	249
8.2.- ASPECTO ECONÓMICO .....	250
8.2.1.- Costes de desalación .....	256
8.3.- ASPECTO POLÍTICO.....	263
8.4.- ASPECTO AMBIENTAL .....	270
8.4.1.- Características y comportamiento de los vertidos.....	272
8.4.2.- Los vertidos hipersalinos sobre los organismos marinos .....	275
8.4.2.1.- Otras comunidades bentónicas marinas .....	278
8.4.3.- Alternativas de vertido y ubicación.....	279
8.4.3.1.- Emisarios submarinos .....	280
8.4.3.2.- Dilución del vertido.....	281
8.4.4.- Otros impactos Medioambientales .....	282
8.4.5.- Impacto en la desaladora de Alicante.....	283
8.4.6.- Impactos de las desaladoras en Cataluña .....	292
8.4.7.- Impactos en de la desaladora Ampliación Alicante I.....	294
8.4.8.- Impactos de la desaladora de Valencia .....	297
8.4.9.- Impacto político de la desaladora de Oropesa.....	299
8.4.10.- Utilización de energías renovables en Águilas/Gudalentin.....	301
8.5.- CONCLUSIONES .....	302
<b>9.- CONCLUSIONES FINALES .....</b>	<b>306</b>
<b>10.- REFLEXIÓN .....</b>	<b>310</b>
<b>11.- BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>311</b>
<b>12- ANEXOS .....</b>	<b>315</b>

## Lista de Figuras

**Fig. 1.-** *Imagen de la Tierra*, 2006. Fuente: [google](#), 2007. Página 6

**Fig. 2.-** *Ciclo hidrológico*. Fuente: U.S. Geological Sources, 2006. Página 10

**Fig. 3.-** *Ola de calor*. Fuente: EE.UU., Gary Braasch, Chicago, Julio 1995. Página 16

**Fig. 4.-** *Derretimiento de glaciares*. Fuente: Administración Nacional Aeronáutica y Espacial, 2002. Página 16

**Fig. 5.-** *Disponibilidad de recursos hídricos versus población*. Fuente: Programa Hidrológico Internacional, Fernández- Jáuregui, 2004. Página 23

**Fig. 6.-** *Esquema del proceso de desalación*. Elaboración propia. Fuente: AEDyR, (Asociación española de desalación y reutilización), 2007. Página 29

**Fig. 7.-** *Descripción general de una planta MSF sin recirculación de salmuera*. Fuente: Fundación Circe, 2001. Página 32

**Fig. 8.-** *Esquema de una planta MSF con recirculación*. Fuente: Fundación Circe, 2001. Página 33

**Fig. 9.-** *Sección transversal de una etapa de una MSF*. Fuente: Fundación Circe, 2001. Página 34

**Fig. 10.-** *Planta desaladora Al Taweelah B (Abu Dhabi, Emiratos Árabes Unidos). Italimpianti (1996)*. Fuente: Fundación Circe, 2001. Página 36

**Fig. 11.-** *Destilación múltiple efecto (MED) con evaporadores horizontales*. Desalación como alternativa al PHN. Fundación Circe, 2001. Página 38

**Fig. 12.-** *Esquema del termocompresor acoplado a una planta TVC*. Desalación como alternativa al PHN. Fuente: Fundación Circe, 2001. Página 40

**Fig. 13.-** *Diagrama de la compresión de vapor (CV)*. Desalación como alternativa al PHN. Fuente: Fundación Circe, 2001. Página 41

**Fig. 14.-** *Esquema de un colector solar para destilación*. Desalación como alternativa al PHN. Fuente: Fundación Circe, 2001. Página 43

**Fig. 15.-** *Destilador solar instalado en El Paso (Texas, 1995)*. Fuente: El paso Solar Energy Association, 2007. Página 44

**Fig. 16.-** *Esquema de desalación por electrodiálisis*. Fuente: Universidad de Alicante, 2002. Página 46

**Fig. 17.-** *Esquema de la Ósmosis*. Fuente: Fundamentos de la Ósmosis Inversa RG Systems, 2002. Página 52

**Fig. 18.-** *Esquema de la Ósmosis Inversa*. Fuente: Fundamentos de la Ósmosis Inversa RG Systems, 2002. Página 53



**Fig. 19.-** *Esquema general de separación de aguas por ósmosis inversa.* Fuente: Fundamentos de la Ósmosis Inversa RG Systems, 2002. Página 53

**Fig. 20.-** *Agrupación de los módulos en paralelo de ósmosis inversa.* Fuente: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional, 2003. Página 65

**Fig. 21.-** *Agrupación de los módulos en serie.* Fuente: Hipsagua, 2000. Página 66

**Fig. 22.-** *Esquema de funcionamiento por lotes.* Fuente: Manuel Fariñas Iglesias. Ósmosis Inversa. Fundamentos, tecnología y aplicaciones, McGrawHill, España, 1999. Página 67

**Fig. 23.-** *Esquema del funcionamiento en continuo.* Fuente: Manuel Fariñas Iglesias. Ósmosis Inversa. Fundamentos, tecnología y aplicaciones. McGrawHill, España, 1999. Página 68

**Fig. 24.-** Desarrollo de membranas. Fuente: AEDyR, Ósmosis Inversa, 2007. Página 75

**Fig. 25.-** *Esquema de un módulo de fibra hueca.* Fuente: Plantas purificadoras, 2007. Página 77

**Fig. 26.-** *Sección transversal de un módulo de fibra hueca.* Fuente: Manuel Fariñas Iglesias. Ósmosis Inversa. Fundamentos, tecnología y aplicaciones. McGrawHill, España, 1999. Página 77

**Fig. 27.-** *Región de Oriente Medio.* Fuente: Enciclopedia Libre, 2007. Página 113

**Fig. 28.-** *Situación geográfica de Irán.* Fuente: Global Mapping Internacional, 2007. Página 116

**Fig. 29.-** *Situación geográfica de Israel.* Fuente U.S Comitee for Refugess and Immigrants, 2007. Página 117

**Fig. 30.-** *Situación geográfica de Jordania.* Fuente: United States Agency Internacional developement, 2007. Página 118

**Fig. 31.-** *Situación geográfica de Egipto.* Fuente: Travel web, 2007. Página 119

**Fig. 32.-** *Situación geográfica de Turquía.* Fuente: Oracle ThinkQuest – Education Foundation, 2007. Página 120

**Fig. 33.-** *Situación geográfica de Kuwait.* Fuente: World Maps Inforamtion, 2007. Página 121

**Fig. 34.-** *Situación geográfica de Arabia Saudita.* Fuente: Australian Government- Despartament of Foreing Affairs and Trade, 2007. Página 123

**Fig. 35.-** *Situación geográfica de Emiratos Árabes Unidos.* Fuente: Mapas y Guías de todo el mundo, 2007. Página 124

**Fig. 36.-** Situación geográfica del Levante Español. Fuente: Enciclopedia Libre, 2007. Página 132

**Fig. 37.-** *Plantas Desalinizadoras en las cuencas Mediterráneas.* Elaboración propia. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, Programa A.G.U.A, 16 mayo 2006. Página 147

**Fig. 38.-** *Mapa de España por autonomías, Cataluña.* Fuente: España por Autonomías, 2007. Página 147

**Fig. 39.-** *Mapa de las comarcas de Cataluña.* Fuente: Institut Cartogràfic de Catalunya, 2007. Página 150

**Fig. 40.-** *Mapa de España por autonomías, Comunidad Valenciana.* Fuente: España por Autonomías, 2007. Página 165

**Fig. 41.-** *Provincias de la Comunidad Valenciana.* Fuente: España por Autonomías, 2007. Página 166

**Fig. 41a.-** *Mapa de las comunidades de Valencia.* Fuente: España por Autonomías, 2007. Página 169

**Fig. 42.-** *Estado ejecución de las plantas desalinizadoras en la cuenca mediterránea. Comunidad Valenciana.* Elaboración propia. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, Programa A.G.U.A. 16 mayo, 2006. Página 179

**Fig. 43.-** *Mapa de España por autonomías, Murcia.* Fuente: España por Autonomías, 2007. Página 194

**Fig. 44.-** *Estado ejecución de las plantas desalinizadoras en la Comunidad de Murcia.* Elaboración propia. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, Programa A.G.U.A. 16 mayo 2006. Página 210

**Fig. 45.-** *Mapa de España por autonomías, Andalucía.* Fuente: España por Autonomías, 2007. Página 220

**Fig. 46.-** *Provincias de Andalucía.* Fuente: Enciclopedia Libre, 2007. Página 221

**Fig. 47.-** *Estado ejecución de las plantas desalinizadoras en la cuenca mediterránea. Comunidad Andaluza.* Elaboración propia. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, Programa A.G.U.A. 16 mayo, 2006. Página 233

**Fig. 48.-** *Tuberías de captación de agua de mar de la desaladora de Carboneras.* Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007. Página 250

**Fig. 49.-** *Vertido al mar de sal muera de una planta desaladora.* Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007. Página 271

**Fig. 50.-** *Terrza o mata de Posidonia oceanica. Son estructuras milenarias (hasta 7.000 años) de varios metros de altura que modifican la topografía submarina en las zonas más próximas a línea de costa.* Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72) 2007. Página 274

**Fig. 51.-** *Parcelas experimentales de tres metros cuadrados empleadas para estudiar in situ la respuesta de P. oceánica al incremento de la salinidad.* La salmuera era aportada desde una planta desaladora piloto (200 m<sup>3</sup>/ día) a diferentes salinidades experimentales. Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007. Página 277

**Fig. 52.-** *Aspecto de los fondos colonizados por las fanerógamas marinas: Cymodocea nodos, con Posidonia oceánica al fondo.* Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007. Página 279

**Fig. 53.-** *Distribución de las comunidades bentónicas en una localidad del litoral murciano (Mazarrón).* En color verde se indica la distribución de la pradera de Posidonia oceánica. Fuente: Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, 2007. Página 280

**Fig. 54.-** *Localización del vertido de la desaladora de Alicante, (Canal de la Fontana) y de las praderas de Posidonia oceánica presentes en la zona.* Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007. Página 285

**Fig. 55.** Representación espacial de la profundidad (m) y de los datos de salinidad superficial, intersticial y de fondo, obtenidos en las tres campañas, Agosto, Marzo y Septiembre 2003. Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007. Página 288

**Fig. 56.-** Actuación en la provincia de Alicante. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006. Página 321

**Fig. 57.-** Actuación en la provincia de Almería. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006. Página 32

**Fig. 58.-** Actuación en la provincia de Barcelona. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006. Página 323

**Fig. 59.-** Actuación en la provincia de Castellón. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006. Página 324

**Fig. 60.-** Actuación en la provincia de Gerona. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006. Página 325

**Fig. 61.-** Actuación en la provincia de Murcia. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006. Página 326

**Fig. 62. -** Actuación en la provincia Tarragona. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006. Página 327

**Fig. 63.-** Actuación en la provincia de Valencia. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006. Página 328

**Fig. 64.-** Actuación en las cuencas Mediterráneas. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006. Página 329

**Fig. 65.-** Actuación en las cuencas internas de Cataluña y Ebro. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006. Página 330

**Fig. 66.-** Actuación en cuenca del Júcar. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006. Página 331

**Fig. 67.-** Actuación en la cuenca del Segura. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006. Página 332

**Fig. 68.-** Actuación en cuenca del Sur. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006. Página 333

## Lista de Tablas

**Tabla 1.-** *Clasificación de estrés hídrico por país y población en el año 1995.* Elaboración propia. Fuente: Programa Hidrológico Internacional, Fernández- Jáuregui. 2004. Página 26

**Tabla 2.-** *Concentraciones de sal en tipo de agua.* Elaboración propia. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, salación del agua del mar y el vertido de Salmuera, 2004. Página 30

**Tabla 3.-** *Comparativa entre los diferentes tipos de bombas.* Fuente: Manuel Fariñas Iglesias. Ósmosis inversa. Fundamentos, tecnología y aplicaciones. McGrawHill. España, 1999. Página 61

**Tabla 4.-** *Comparativa entre los distintos sistemas de recuperación de energía.* Fuente: Manuel Fariñas Iglesias. Ósmosis inversa. Fundamentos, tecnología y aplicaciones. McGrawHill. España 1999. Página 63

**Tabla 5.-** *Clasificación de membranas.* Fuente: Manuel Fariñas Iglesias. Ósmosis Inversa. Fundamentos, tecnología, y aplicaciones. McGrawHill, Españ, 1999. Página 71

**Tabla 6.-** *Valoración de diferentes características deseables para los métodos de desalación existentes en el mercado.* Fuente: CIRCE, Universidad de Zaragoza, 2001. Página 90

**Tabla 7.-** *Rangos de salinidad de los diferentes tipos de agua.* Fuente: Fariñas, 1999; Medina, 2000. Página 92

**Tabla 8.-** *Salinidad media de los mares y océanos principales del planeta.* Fuente: Abu Qdais, 1999; Handbury, Hodgkiess y Morris, 1993; Medina, 2000. Página 93

**Tabla 9.-** *Proceso desalador a aplicar en función del tipo de agua bruta.* Fuente: Fariñas, 1999; Medina, 2000. Página 94

**Tabla 10.-** *Comparativa de parámetros más significativos del agua según normas o estándares actuales.* Fuente: Rueda, Zorrilla, Bernaola y Hervás. CIRCE universidad de Zaragoza, 2000. Página 96

**Tabla 11.-** *Calidad media de agua obtenida por diferentes procesos de desalación.* Fuente: Rueda, Zorrilla, Bernaola y Hervás, CIRCE universidad de Zaragoza, 2000. Página 97

**Tabla 12.-** *Composición de agua mineral envasada.* Fuente: Juan Reynerio Facundo Castillo, Red de Salud de Cuba, 1996. Página 100

**Tabla 13.-** *Capacidad instalada (m<sup>3</sup>/día) en la región de Oriente Medio, desglosada por técnicas de desalación.* Fuente: Wateramrk, 2000. Página 115

**Tabla 14.-** *Plantas de desalación de USA instaladas.* Fuente: Hawai University, 2000. Página 128

**Tabla 15.-** *Instalaciones desaladoras en el área del Pacífico.* 1998. Fuente: Goto y otros, 1999. Página 130

**Tabla 16.-** *Plantas desaladoras más importantes en España.* Fuente: Fariñas, 1999. Wangnick, 2.000. PHN (Gobierno de Aragón), 2000. Página 138

**Tabla 17.-** *Plantas desaladoras más importantes en España.* Fuente: Fariñas, 1999. Wangnick, 2.000. PHN (Gobierno de Aragón), 2000. Página 139

**Tabla 18.-** *Distribución de las Cuencas en el Mediterráneo.* Elaboración propia. Fuente: Trasvases y la desalación. Tiza y Pizarra, 2005. Página 144

**Tabla 19.-** *Ríos de Cataluña.* Elaboración propia. Fuente: Enciclopedia Libre, 2007. Página 151

**Tabla 20.-** *Ríos de Cataluña.* Elaboración propia. Fuente: Enciclopedia Libre, 2007. Página 151

**Tabla 21.-** *Demanda de agua total según los usos.* Elaboración propia. Fuente: ACA (Agència Catalana de l'aigua), 2007. Página 160

**Tabla 21a.-** *Resumen de las demandas actuales de agua en Cataluña en  $hm^3/año$ .* Elaboración propia. Fuente: ACA (Agència Catalana de l'aigua), 2007. Página 161

**Tabla 22.-** *Ríos de la Comunidad Valenciana.* Elaboración propia. Fuente: Enciclopedia Libre, 2007. Página 167

**Tabla 23.-** *Clasificación de la accesibilidad a los recursos hídricos en la Comunidad Valenciana.* Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2004. Página 177

**Tabla 24.-** *Desaladoras en la Comunidad Valenciana con sus respectivos  $hm^3/año$  desalados.* Elaboración propia. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente 16 mayo, 2006. Página 178

**Tabla 25.-** *Entidades de riego de agua desalada.* Elaboración propia. Fuente: Aumento recursos de agua, Cipriano Juárez, 1995. Página 188

**Tabla 26.-** *Población del municipio de Murcia 1857-2005.* Elaboración propia. Fuente: INE (Instituto Nacional de Estadística), 2006. Página 203

**Tabla 27.-** *Balance hídrico de la cuenca del Segura.* Elaboración propia. Fuente: Trasvases y desalación. Tiza y Pizarro, 2005. Página 208

**Tabla 28.-** *Desaladoras en la Comunidad Murciana y  $hm^3/año$  agua desalada.* Elaboración propia. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006. Página 210

**Tabla 29.-** *Actuaciones para la calidad del agua.* Elaboración propia. Fuente: Ingeniería Civil y Medio Ambiente, 2007. Página 230

**Tabla 30.-** *Actuaciones para la calidad del agua en Almería.* Elaboración propia. Fuente: Ingeniería Civil y Medio Ambiente, 2007. Página 231

**Tabla 31.-** *Actuaciones para la calidad del agua en Málaga.* Elaboración propia. Fuente: Ingeniería Civil y Medio Ambiente, 2007. Página 232

**Tabla 32.-** *Desaladoras en la Comunidad Andaluza con sus respectivos  $hm^3/año$  desalados.* Elaboración propia. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente 16 mayo, 2006. Página 234

**Tabla 33.-** *Estado de las desaladoras de Almería.* Elaboración propia. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente. 16 de mayo de 2006. Página 237

**Tabla 34.- Recursos obtenidos en la cuenca del Mediterráneo, hm<sup>3</sup>/año.** Elaboración propia. Fuente: Actuaciones urgentes del programa A.G.U.A en las cuencas Mediterráneas, 2006. Página 242

**Tabla 35.- Listado de plantas desaladoras en la cuenca mediterránea. Elaboración propia.** Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Confederación Hidrográfica del Júcar, 2007. Página 243 y 244

**Tabla 36.- Impactos comunes de obra y funcionamiento de las plantas desaladoras.** Fuente: Acuamed (Aguas de las Cuencas Mediterráneas), 2006. Página 248

**Tabla 37.- Agrupación de los costes de desalación.** Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007. Página 251

**Tabla 38.- Inversión requerida en € de una desaladora de agua de mar.** Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007. Página 252

**Tabla 39.- Evolución necesaria para amortizar un millón de euros.** Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72, 2007). Página 257

**Tabla 40.- Coste del metro cúbico del agua desalada debidos a la amortización, inversión barata.** Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007. Página 257

**Tabla 41.- Coste del metro cúbico del agua desalada debidos a la amortización, inversión media.** Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007. Página 257

**Tabla 42.- Coste del metro cúbico del agua desalada debidos a la amortización, inversión cara.** Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007. Página 258

**Tabla 43.- Costes fijos de operación (sin IVA).** Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007. Página 258

**Tabla 44.- Distribución del consumo específico de energía en la desalación (OI).** Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007. Página 258

**Tabla 45.-** Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72) 2007. Página 259

**Tabla 46.- Costes totales de operación.** Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007. Página 259

**Tabla 47.- Coste del metro cúbico de agua desalada (IVA incluido).** Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007. Página 260

**Tabla 48.- Costes del agua desalada y porcentajes de participación.** Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007. Página 260

**Tabla 48a.- Componentes de los vertidos y sus impactos.** Elaboración propia. Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007. Página 270

**Tabla 49.- Comparación de posibles emplazamientos de desaladoras en Cataluña.** Elaboración propia. Fuente: Conques internes de Catalunya. Agència catalana de l'aigua, 2002. Página 294

**Tabla 50.-** *Impactos positivos y negativos de las desaladoras.* Elaboración propia, 2007. Página 303

**Tabla 51.-** *Resumen de los impactos más importantes de las desaladoras.* Elaboración propia, 2007. Páginas 304 y 305

**Tabla 52.-** *Cronología de conflictos del agua.* Peter Gleick, del Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security, 2000. Páginas 315, 316, 317, 318, 319

## **1. INTRODUCCIÓN**



## 1.- Introducción

El agua es un bien escaso y de primera necesidad que en muchas zonas del planeta representa un problema económico y medioambiental. Dadas las regiones que sufren escasez de agua, junto a un consumo de agua en las zonas industrializadas que crece a pasos agigantados, el hombre se ha visto obligado a buscar maneras alternativas para la obtención de agua potable. Una de éstas ha sido la desalación o desalinización, en la que se transforma una sustancia fácil de obtener (el agua del mar) en otra que en muchas zonas escasea.

La desalación es una técnica que consiste en retirar la sal del agua marina o salobre para convertirla en un recurso aprovechable tanto para el abastecimiento humano, como para riego y usos industriales.

Consideramos agua salobre al agua que contiene aproximadamente un 10% de agua de mar que está localizada en zonas donde los ríos de agua dulce desembocan en el mar. La salinidad de las aguas marinas es de aproximadamente entre el 34 y 40 g/l.

Actualmente la desalación de agua de mar se ha convertido en una de las soluciones más empleadas ante la escasez de agua existente en algunos países. El número de instalaciones desaladoras de todo el mundo, tanto proyectadas como en construcción, se ha incrementado de una forma significativa en los últimos años. Por ejemplo, España obtiene agua a través de desaladoras desde hace 30 años. La primera desaladora con producción significativa se instaló en España en 1965, en Lanzarote. En la actualidad existen más de 700 desaladoras funcionando con una capacidad superior a los 800.000 m<sup>3</sup>/día de los cuales el 47,1% provienen del agua marina (Programa A.G.U.A, Actuaciones para la Gestión y la Utilización del Agua).

Las plantas desaladoras, pueden ser de diferentes tamaños y utilizar diferentes métodos de desalación. Durante éstos procesos de desalación, se generan residuos, mayoritariamente salmuera (solución salina muy concentrada cuyo contenido en sal puede llegar a ser 100 g/l de cloruro sódico), supone un grave problema, ya que su alto contenido en sales y en otros componentes químicos contaminantes como detergentes y ácidos, hacen de esta solución, una fuente muy contaminante. Si se trata

adecuadamente, según los expertos, y si éste es vertido en zonas de profundidad y en zonas de fondo marino adecuado, los impactos previsibles son reducidos. Otro foco de contaminación son las emisiones de gases en la atmósfera, creados por la producción de energía eléctrica consumida por la planta. Sin olvidarnos los impactos medioambientales negativos provocados por la captación de agua, en la flora y fauna marina, también en la agricultura, la contaminación acústica y el espacio físico ocupado por la planta desaladora.

El sistema de eliminación de sales del mar o destilación se conoce desde la antigüedad, pero implicaba un consumo muy alto de energía lo que a priori lo hacía inviable a nivel económico. Hoy en día las diferentes tecnologías utilizadas para desalar han ido evolucionando durante la historia y se continúa investigando para reducir consumos energéticos y realizar un tratamiento sostenible a los residuos obtenidos.

Actualmente el desarrollo tecnológico permite la obtención de agua dulce (contenido en sales inferior a 500ppm) a partir del agua del mar (contenido en sales del orden de 35.000ppm) aunque todavía a un coste muy elevado, que puede ser asumido en ciertos casos en los que la obtención de agua dulce por otros métodos resulta más inviable. Un coste más reducido de la energía no solo facilitará su expansión sino que dará un salto tecnológico muy grande en el desarrollo de éstos procesos. Se está investigando para que las técnicas de desalación puedan ser una fuente sostenible y existente mediante energías renovables.

El agua del mar es muy necesaria para el desarrollo de la vida, así como para numerosas actividades humanas. La disponibilidad de agua y su calidad, es un factor fundamental que condiciona el desarrollo de cualquier región, ya que es imprescindible para el desarrollo demográfico, industrial y agrícola.

El consumo de agua dulce aumenta continuamente, duplicándose en los últimos 50 años (Informe de Manos Unidas 2003). Todos los datos obtenidos durante la realización de este proyecto (datos de fuentes reconocidas) muestran la necesidad de investigar e invertir en métodos sostenibles para paliar la escasez de agua dulce en muchas zonas del planeta. Más de 5 millones de personas mueren cada año a causa de las enfermedades relacionadas con la falta de agua en condiciones adecuadas (Forum Barcelona 2004). Si

pensamos en este dato tan negativo, es fácil entender los beneficios que nos aportan las plantas desaladoras, pero analizando en profundidad los posibles aspectos negativos que generan, obliga a plantearse si es el método más apropiado para paliar la escasez de agua.

El presente proyecto se centrará fundamentalmente en la zona del mediterráneo, una zona donde la desalación es apta para su desarrollo, ya que el acceso al mar o aguas salobres es fácil, esta facilidad hace que se esté fomentando la instalación de nuevas plantas desaladoras.

## **2. OBJETIVOS**

## **2.- Objetivos**

El objetivo fundamental del presente proyecto es el estudio de viabilidad de las desaladoras, centrándonos en la zona costera del Mediterráneo.

El proyecto se centra en el estudio de los impactos causados por las desaladoras, analizando los aspectos más importantes: económicos, sociales, ambientales e institucionales. Se dará una visión global de éstos aspectos resaltándolos exhaustivamente en la zona costera española del Mediterráneo.

Nos planteamos diversas preguntas fundamentales: ¿La utilización de plantas desaladoras, permite un desarrollo sostenible? ¿Cuáles son los impactos de las desaladoras? ¿Se puede considerar la desalación una tecnología sostenible? Es decir, ¿es un desarrollo que satisface las necesidades actuales, sin destruir nada que pueda afectar en sentido negativo a generaciones futuras? ¿Qué método de desalación permite un desarrollo más sostenible? ¿Cuál es la situación actual de las desaladoras y que futuro les espera?...

Si nos hacemos una idea de cómo está el mundo en general, es cada vez más notorio que deben utilizarse todas las tecnologías disponibles y apropiadas para un desarrollo sostenible. ¿Pero qué entendemos cómo desarrollo sostenible? Según la Comisión Mundial de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (informe de 1987), lo define con tres aspectos básicos:

- Sostenibilidad Económica: Crecimiento económico en beneficio del progreso social y desde el respeto al Medio Ambiente.
- Sostenibilidad Social: Política social que impulse la economía de forma armónica y compartida.
- Sostenibilidad Medioambiental: Política Ambiental eficaz y económica que fomente el uso racional de los recursos.

Así pues, los objetivos más concretos de este proyecto se exponen a continuación:

- Visión general de los recursos hídricos en el mundo.
- Definir los diferentes procesos de desalación existentes.
- Estudiar la calidad y el uso de agua desalada
- Analizar los consumos energéticos y los costes de desalación.
- Estudiar la situación actual de la desalación.
- Analizar la utilización de desaladoras desde el punto de vista social, económico, ambiental e institucional en la zona costera del Mediterráneo.

### **3.-VISIÓN GLOBAL DE LOS RECURSOS HÍDRICOS**

### 3.- Visión global de los recursos hídricos

#### 3.1.- Distribución de los recursos hídricos en el planeta

El agua constituye el elemento más abundante de la Tierra. Efectivamente, en una imagen que hiciéramos del espacio, en el planeta predomina el color azul del agua. Ésta cubre un 70% de la superficie del planeta, por lo tanto, uno se puede preguntar si la Tierra es el nombre más adecuado para nuestro planeta. Seguramente bautizamos con Tierra a nuestro planeta, utilizando, como es habitual, una visión antropogénica.



**Fig. 1.-** *Imagen de la Tierra, 2006.*  
Fuente: google, 2007.

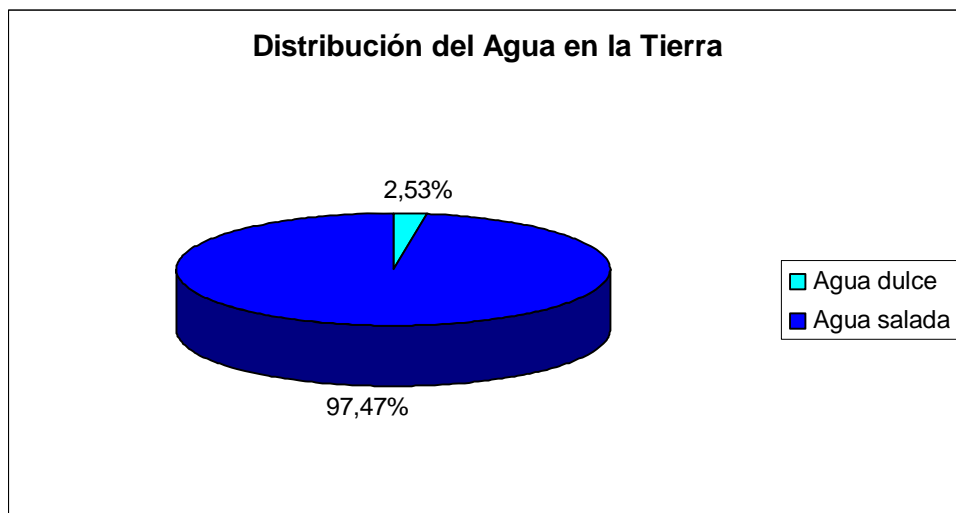
Ésta agua está distribuida en forma de océanos y éstos océanos funcionan como grandes depósitos de calor que guardan la energía del sol y la liberan a la atmósfera lentamente. Estas grandes superficies de agua ejercen de un efecto regulador y termográfico sobre el clima y los seres vivos del planeta. Las propiedades de agua son un excelente nido de cultivo que ha permitido un desarrollo y mantenimiento de la vida.



### 3.1.1.- Cifras sobre la distribución de agua dulce

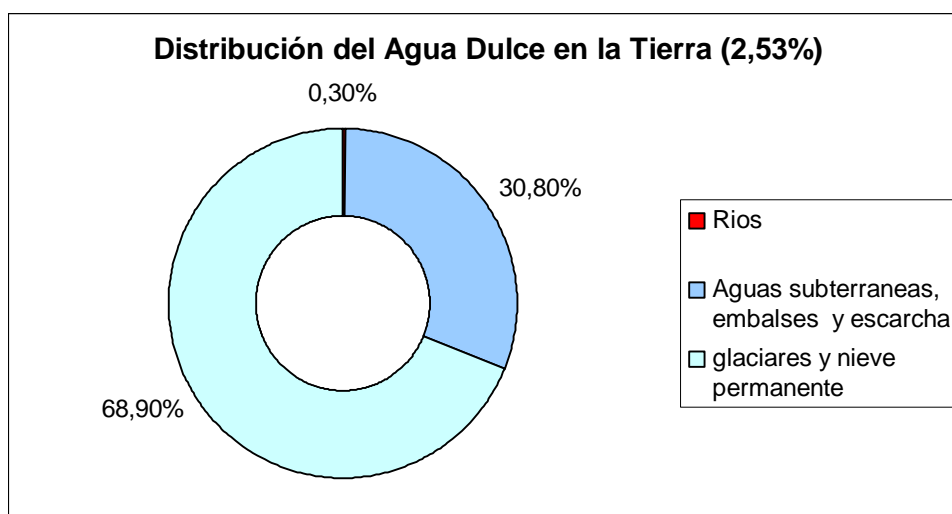
Antes de comenzar a hablar sobre cifras de distribución de los recursos hídricos, se ha de prevenir diciendo que estas cifras son aproximadas y que nos podemos encontrar cierta disparidad según la fuente consultada. Pero sin duda, lo importante es tener una visión global de los recursos hídricos, y saber interpretar los grandes nombres, y aquí si que la gran mayoría de fuentes son bastante coincidentes.

De todos los recursos renovables del planeta, el agua dulce es el más importante. Aunque el agua sea el elemento más abundante de la Tierra, sólo un 2,53 % es agua dulce, y el resto de agua es salada (FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2002).



**Gráfica 1.-** *Distribución global del agua en la tierra.* Elaboración propia.  
Fuente: FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2002.

La distribución de éste agua dulce es la siguiente: un 0,3% se encuentra en lagos y ríos, un 30,8% se encuentra subterránea, en embalses y en forma de escarcha, y finalmente el resto, un 68,9%, en glaciares y nieve permanente (Shiklomanov, 1998, UNESCO 2002, Vital Graphics Water)



**Gráfica 2.- Distribución del agua dulce en la Tierra.** Elaboración propia.  
Fuente: UNESCO, 2002.

El volumen total del agua de la Tierra es aproximadamente 1.400 millones de km<sup>3</sup>, de los cuales el 2,5% comentado en el párrafo anterior, representa unos 35 millones km<sup>3</sup> de agua dulce. La mayor parte del agua dulce se presenta de forma de glaciares y nieves permanentes (ubicada en la región antártica y en Groenlandia) o en profundos acuíferos de aguas subterráneas.

Las principales fuentes para el ser humano son los lagos, los ríos, la humedad del suelo y las cuencas de aguas subterráneas relativamente poco profundas. La parte aprovechable de estas fuentes es aproximadamente sólo de unos 200.000 km<sup>3</sup> de agua; eso quiere decir menos de un 1% del total de agua dulce y sólo un 0,01% del agua total del planeta. La gran abundancia de agua que aparentemente se contempla en un inicio queda muy reducida cuando hablamos de agua directamente aprovechable (en ríos, lagos, presas y acuíferos poco profundos) para el uso humano. La mayor parte de ésta agua disponible no está siempre al lado de las poblaciones, cosa que es considerado un grave problema porque dificulta el abastecimiento. Si además esta agua se encuentra repartida de una manera desigual en la Tierra, es fácil entender que se hable de agua dulce como un recurso escaso y nos fijemos en las valoraciones numéricas.

### **3.2.- La lluvia como determinante de la distribución de los recursos hídricos**

El régimen de precipitaciones es muy variable, determina en gran medida la distribución de los recursos fluviales. Existen muchas zonas áridas del planeta. La deforestación y la desertificación son fenómenos que contribuyen a reducir el total de agua dulce que se va evaporando (y de echo, reduce el régimen de lluvias). También influyen las condiciones y la naturaleza del suelo, que permiten la humedad, la retención de agua y el desarrollo de la vegetación, que a la vez contribuyen a aumentar el régimen de precipitaciones. Se entenderá mejor con el llamado ciclo hidrológico que se explica a continuación.

#### **3.2.1.- Ciclo hidrológico**

Es necesario comentar el ciclo hidrológico, que es el responsable de la consideración del agua como un recurso afortunadamente renovable. Es de vital mención que el agua circula dentro de un enorme sistema mundial complejo e interconectado. Los intercambios tierra-atmósfera, las precipitaciones, las evaporizaciones, los flujos superficiales y la filtración, así como el agua continua almacenada, durante periodos mas o menos largos en diversos lugares del planeta, son los actores del ciclo vital del agua.

El agua no desaparece nunca, siempre existe una misma cantidad, se ha mantenido constante desde la aparición de la Humanidad, se recicla. Los movimientos físicos del agua (sólido, líquido y gas) en el planeta son movidos por la energía solar. Esto hace que el agua sea un recurso continuamente renovado. Se estima que una gota de agua no permanece más de 8 días en la atmósfera, y 16 días en el curso de un río. La cantidad total de agua que existe en la Tierra, en sus tres fases: sólida, líquida y gaseosa, El agua de la Tierra (que constituye la hidrosfera) se distribuye en tres reservorios principales: los océanos, los continentes y la atmósfera, entre los cuales existe una circulación continua - el ciclo del agua o ciclo hidrológico. El movimiento del agua en el ciclo hidrológico es mantenido por la energía radiante del sol y por la fuerza de la gravedad.

El ciclo hidrológico se define como la secuencia de fenómenos por medio de los cuales el agua pasa de la superficie terrestre, en la fase de vapor, a la atmósfera y regresa en sus fases líquida y sólida. La transferencia de agua desde la superficie de la

Tierra hacia la atmósfera, en forma de vapor de agua, se debe a la evaporación directa, a la transpiración por las plantas y animales y por sublimación (paso directo del agua sólida a vapor de agua).



**Fig. 2.- Ciclo hidrológico**  
Fuente: U.S. Geological Sources, 2006.

La cantidad de agua movida, dentro del ciclo hidrológico, por el fenómeno de sublimación es insignificante en relación a las cantidades movidas por evaporación y por transpiración, cuyo proceso conjunto se denomina evapotranspiración.

El vapor de agua es transportado por la circulación atmosférica y se condensa después de haber recorrido distancias que pueden sobrepasar 1,000 Km. El agua condensada da lugar a la formación de nieblas y nubes y, posteriormente, a precipitaciones.

La precipitación puede ocurrir en la fase líquida (*lluvia*) o en la fase sólida (*nieve* o *granizo*). El agua precipitada en la fase sólida se presenta con una estructura cristalina, en el caso de la nieve, y con estructura granular, regular en capas, en el caso del granizo.

La precipitación incluye también el agua que pasa de la atmósfera a la superficie terrestre por condensación del vapor de agua (rocío) o por congelación del vapor (helada) y por intercepción de las gotas de agua de las nieblas (nubes que tocan el suelo o el mar).

El agua que precipita en tierra puede tener varios destinos. Una parte es devuelta directamente a la atmósfera por evaporación; otra parte va por la superficie del terreno, escorrentía superficial, que se concentra en surcos y va a originar las líneas de agua. El agua restante se infiltra, ésta penetra en el interior del suelo; esta agua infiltrada puede volver a la atmósfera por evapotranspiración o profundizarse hasta alcanzar las capas freáticas.

Tanto el escurrimiento superficial como el subterráneo van a alimentar los cursos de agua que desaguan en lagos y en océanos.

La escorrentía superficial se presenta siempre que hay precipitación y termina poco después de haber terminado la precipitación. Por otro lado, el escurrimiento subterráneo, especialmente cuando se da a través de medios porosos, ocurre con gran lentitud y sigue alimentando los cursos de agua mucho después de haber terminado la precipitación que le dio origen.

Así, los cursos de agua alimentados por capas freáticas presentan unos caudales más regulares.

Como se explica anteriormente, los procesos del ciclo hidrológico están en la atmósfera y en la superficie terrestre por lo que se puede admitir dividir el ciclo del agua en dos ramas: aérea y terrestre.

El agua que precipita sobre los suelos va a repartirse, a su vez, en tres grupos: una que es devuelta a la atmósfera por evapotranspiración y dos que producen escurrimiento superficial y subterráneo. Esta división está condicionada por varios factores, unos de

orden climático y otros dependientes de las características físicas del lugar donde ocurre la precipitación.

Así, la precipitación, al encontrar una zona impermeable, origina escurrimiento superficial y la evaporación directa del agua que se acumula y queda en la superficie. Si ocurre en un suelo permeable, poco espeso y localizado sobre una formación geológica impermeable, se produce entonces escurrimiento superficial, evaporación del agua que permanece en la superficie y aún evapotranspiración del agua que fue retenida por la cubierta vegetal. En ambos casos, no hay escurrimiento subterráneo; este ocurre en el caso de una formación geológica subyacente permeable y espesa.

La energía solar es la fuente de energía térmica necesaria para el paso del agua desde las fases líquida y sólida a la fase de vapor, y también es el origen de las circulaciones atmosféricas que transportan el vapor de agua y mueven las nubes.

La fuerza de gravedad da lugar a la precipitación y al escurrimiento. El ciclo hidrológico es un agente modelador de la corteza terrestre debido a la erosión y al transporte y deposición de sedimentos por vía hidráulica. Condiciona la cobertura vegetal y, de una forma más general, la vida en la Tierra.

El ciclo hidrológico puede ser visto, en una escala planetaria, como un gigantesco sistema de destilación, extendido por todo el Planeta. El calentamiento de las regiones tropicales debido a la radiación solar provoca la evaporación continua del agua de los océanos, la cual es transportada bajo forma de vapor de agua por la circulación general de la atmósfera, a otras regiones. Durante la transferencia, parte del vapor de agua se condensa debido al enfriamiento y forma nubes que originan la precipitación. El regreso a las regiones de origen resulta de la acción combinada del escurrimiento proveniente de los ríos y de las corrientes marinas.

### 3.2.2.- Cifras del ciclo hidrológico

Se estima que cada año,  $502.800 \text{ km}^3$  de agua de los océanos y los mares, el 90% vuelve directamente a los océanos a través de las precipitaciones, mientras que el resto,  $44.800 \text{ km}^3$ , cae sobre la tierra. Con la evapotranspiración llegamos aproximadamente a un total de  $74.200 \text{ km}^3$  dentro de un volumen total del ciclo hidrológico terrestre de aproximadamente  $119.000 \text{ km}^3$ .

El 35% de esta agua que representa unos  $44.800 \text{ km}^3$  es devuelta a los océanos por los ríos, las aguas subterráneas y los glaciares. Una parte considerable del flujo del río y de las filtraciones de los acuíferos nunca llega al océano, ya que se evapora por el camino. El volumen de agua total que circula en el ciclo hidrológico se aproxima a  $557.000 \text{ km}^3$ .

El ser humano extrae un 8% del total anual de agua dulce renovable y se apropia de un 26% la evapotranspiración anual y del 54% de las aguas de escorrentía accesibles. El control que la humanidad ejerce sobre las aguas de escorrentía es actualmente global y el hombre tiene un papel importante en el ciclo hidrológico. (Datos: Gleik, 1993).

Evidentemente las precipitaciones son muy diferentes según las regiones del planeta; esto hace que nos encontremos con una distribución irregular del volumen de agua en los continentes y los cabales de las cuencas fluviales que abastecen la humanidad.

El régimen de precipitaciones establece una relación directa con los recursos hídricos que abastecen el planeta. Las zonas más favorecidas corresponden a las regiones tropicales y ecuatoriales, y podemos ver que las regiones más castigadas corresponden al hemisferio norte, y coincide con las zonas que sufren más escasez de agua.

### **3.3.- Calentamiento global**

Los efectos del calentamiento global son muy inciertos. Lo que si se ha constatado es que produce la reducción de precipitaciones y eso lo podemos traducir en nuevos desequilibrios del medio ambiente, el volumen de agua en el planeta siempre es constante, y el agua que cae en el planeta es constante en el tiempo, pero el gran problema que nos encontramos es que en unas zonas aumentan las precipitaciones y en otras disminuye. La precipitación aumentará desde las latitudes 30° N i 30° S (Norte de África), pero por el contrario, muchas regiones tropicales y subtropicales, recibirán posiblemente una cantidad inferior y más irregular (Datos: Gleik, 1993).

#### **3.3.1.- Consecuencias del calentamiento global**

- *Temperaturas más cálidas:* Las temperaturas promedio aumentarán al igual que la frecuencia de las olas de calor.
- *Sequías y fuegos arrasadores:* Las temperaturas más calidas también podrían aumentar la probabilidad de sequías. El aumento en la evaporación durante el verano y el otoño podrían exacerbar las condiciones de sequía y aumentar el riesgo de fuegos arrasadores.
- *Tormentas más intensas:* Las temperaturas más cálidas aumentan la energía del sistema climático y producen lluvias más intensas en algunas épocas y en ciertas áreas



### **3.3.1.1.- Cambio de clima por el calentamiento global**

Es importante comentar, que las generaciones futuras, heredarán un mundo más caluroso, aire más contaminado y agua más sucia, inundaciones y sequías más intensas e incendios arrasadores.

Los datos científicos más recientes, confirman que el clima de la Tierra está cambiando de forma rápida. Las temperaturas globales han aumentado 1 grado Fahrenheit (equivalente a 0,56 °C) en el último siglo y probablemente aumente con mayor rapidez.

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1.8$$

*Conversión de grados Fahrenheit a Celsius*

Los científicos predicen que si no reducen las emisiones que causan el calentamiento global, las temperaturas promedio de los países industrializados, podrían aumentar entre los 3 y 9 grados Fahrenheit, a finales de siglo. Las olas de calor serán más frecuentes e intensas. Las sequías y los fuegos arrasadores ocurrirán más a menudo. Los hábitats de mosquitos portadores de enfermedades ganarán terreno. Además de que algunas especies serán expulsadas a la extinción (Natural Resources Defense Council, 2006).

### **3.3.1.2.- Calentamiento global en la salud**

- *Olas de calor mortales y la propagación de enfermedades:*  
Olas de calor más frecuentes e intensas se podrían dar como resultado de las altas temperaturas. Esas condiciones también podrían agravar los problemas locales de la calidad del aire. Se espera que el calentamiento global también aumente la virulencia de las enfermedades tropicales.

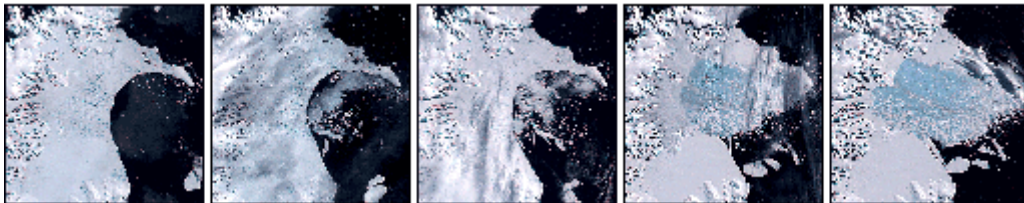


**Fig. 3.-** *Ola de calor*

Fuente: EE.UU., Gary Braasch, Chicago, Julio 1995.

### 3.3.1.2.- Calentamiento global en el agua

- *Derretimiento de glaciares, deshielo temprano:* El aumento en las temperaturas globales acelerará el derretimiento de los glaciares y capas de hielo y causarán deshielos tempranos en ríos y lagos.



**Fig. 4.-** *Derretimiento de glaciares.*

Fuente: Administración Nacional Aeronáutica y Espacial, 2002.

La fotografía de satélite muestra la plataforma de hielo Larsen B, el 31 de enero de 2002. El hielo se ve blanco sólido. Avanzando hacia la derecha, en fotos tomadas el 17 y el 23 de febrero, el hielo empieza a desintegrarse. Se observa, agua (azul) donde antes había hielo y que una porción de la plataforma está flotando.

- *Aumenta el nivel del mar:* expansión térmica de los océanos y del derretimiento parcial de los glaciares y las capas de hielo de la Antártida y Groenlandia. Las consecuencias incluyen la pérdida de pantanos costeros e islas barrera, además de un mayor riesgo de inundaciones en comunidades costeras.

### **3.3.1.3.- Calentamiento global en el ecosistema**

- *Cambia el ecosistema y mueren especies animales:* Se espera que el aumento en las temperaturas globales trastorne ecosistemas y produzca la pérdida de diversidad de especies, a medida que mueran las especies que no puedan adaptarse al clima. Se calcula que por el calentamiento global un millón de especies estarían destinadas a la extinción. Algunos ecosistemas como los bosques tropicales y los manglares, probablemente desaparezcan debido a los nuevos climas locales más cálidos o por la elevación del nivel del mar en la costa.

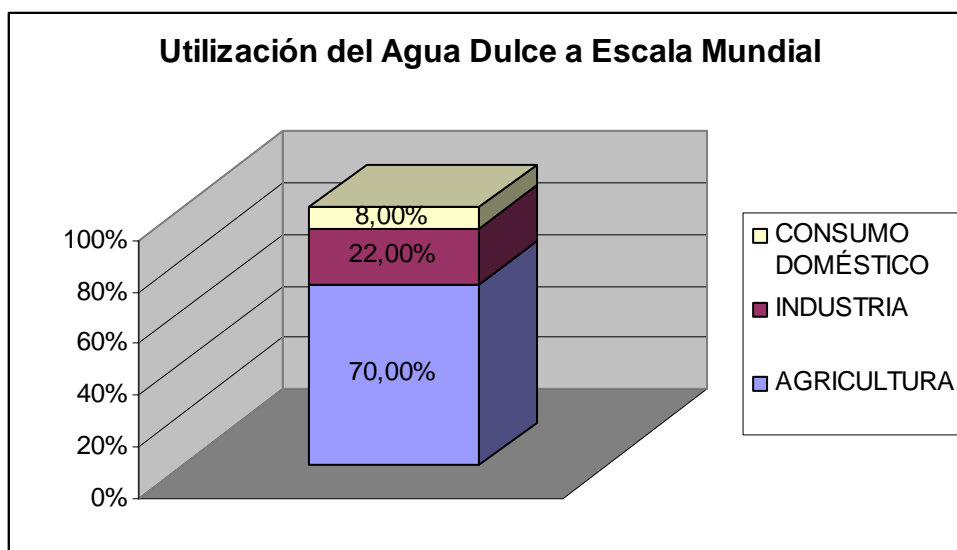
### **3.4.- Usos del agua dulce**

El consumo de agua dulce en nuestro planeta, aumenta por cápita a causa de una mejora de la calidad de vida. En los últimos 50 años se ha duplicado el consumo de agua dulce (UNESCO, 2003). Ésta enorme evolución ha tenido graves consecuencias y muy graves incidentes sobre el medio ambiente: la mitad de las zonas húmedas han desaparecido durante el siglo XX, algunos ríos ya no evocan al mar y se ha investigado que el 20% de las especies piscícolas de agua dulce están a punto de desaparecer, de hecho, algunas ya lo han hecho.

Muchos expertos en el tema hidrológico, proponen que el límite disponible de agua renovable es entre 9.000 i 14.000 km<sup>3</sup> por año, de entre 44.800 km<sup>3</sup> (Datos: Gleik, 1993), ya que una parte muy importante de ésta cantidad es necesaria para conservar los ecosistemas naturales (las cuencas de los ríos, las zonas húmedas y las aguas costaneras) y millones de seres vivos que los habitan.

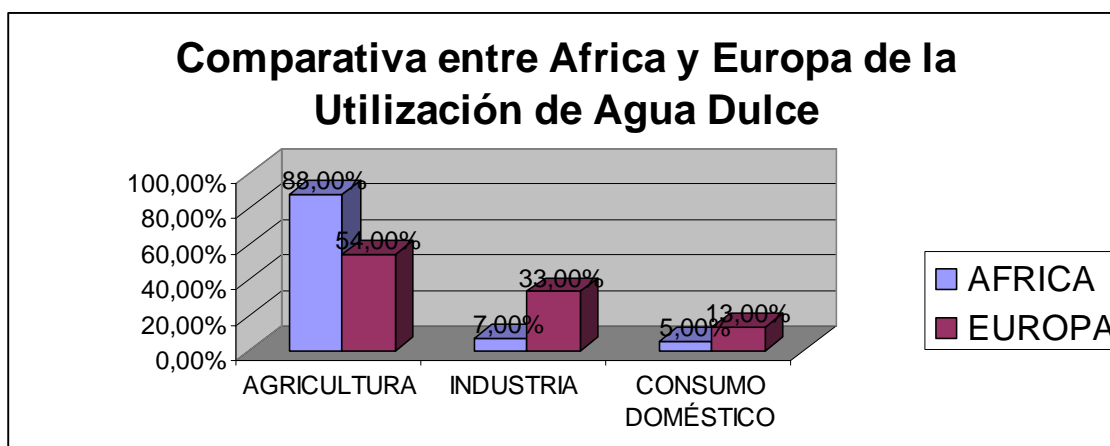
Como se comenta en el apartado del calentamiento global el agua dulce disponible se reparte de manera muy desigual según las regiones: Noruega, Canadá y Gabón, por poner un ejemplo, tienen una gran cantidad de recursos hídricos, en cambio, Mauritania o Argelia poseen un gran déficit.

El uso del agua dulce, va aumentando en relación, lógicamente, de la cantidad de agua disponible. Los 6.225 millones de habitantes del planeta (UNESCO, 2003), ya se han apropiado de más del 54% del agua dulce disponible en ríos, lagos y acuíferos subterráneos. En estos días, a escala mundial, el 70% de la extracción de agua anual para el uso humano, se destina para la agricultura (especialmente el riego); el 22% para la industria; y el 8% para el consumo doméstico (considerados como la casa, agua para beber y saneamiento).



**Gráfica 3.-** *Utilización del agua dulce a escala mundial.* Elaboración propia.  
Fuente: UNESCO, 2003.

Estos datos, evidentemente, varían según la región. Por poner un ejemplo: en África, el 88% es destinado a la agricultura, el 7% para la industria y únicamente el 5% para el uso doméstico. En Europa, por el contrario, el 54% va destinado a la industria, el 33% para la agricultura, y el 13% para el consumo doméstico (Fernández-Jáuregui, 2003).



**Gráfica 4.-** Utilización de agua dulce, comparativa entre Europa y África. Elaboración propia.  
Fuente: Programa Hidrológico Internacional, Fernández- Jáuregui. 2003.

#### 3.4.1.- Uso del agua dulce en la agricultura

La principal fuente de suministro de alimentos en el mundo es la agricultura, y la gran parte de ésta depende de las lluvias, pero las tierras de regadío representan una cincuentena parte de la zona cultivable total de los países de en desarrollo. La sobreexplotación del agua subterránea por parte de los agricultores excede los niveles de alimentación de los acuíferos. La cantidad de agua consumida para producir una cosecha es enorme. Por poner un ejemplo, es necesario entre 1 y 3 m<sup>3</sup> de agua, para conrear un kilo de arroz y como dato también sorprendente, se necesitan 1.000 Toneladas de agua, para producir 1.000 Toneladas de grano.

En estos días, como ya se ha comentado anteriormente, el consumo en la agricultura, representa un 70% del consumo total de agua. Ésta cantidad aumentará en los próximos 30 años, ya que las zonas de regadío aumentarán.

El sector agrícola es ineficaz en la gestión del agua, las malas prácticas de riego y drenaje han llevado a la salinización de casi el 10% de las tierras irrigadas del planeta. La agricultura es en gran parte responsable del agotamiento del agua subterránea disponible y del 70% de su contaminación. Estos dos fenómenos se van acelerando, como otros muchos. Se ha de intervenir en el conocimiento y las tecnologías de regadío para poder evitar éste ritmo tan insostenible.

### **3.4.2.- Uso de agua en la industria**

La industria es el motor esencial del crecimiento económico, requiere los suficientes recursos de agua como de materia básica. Se estima que el uso industrial del agua pasará del 22% de la extracción de agua dulce en el 2003 al 24% en el 2015. Dentro de los países desarrollados se considera que cada vez utilizan más tecnologías sostenibles, de manera que se minimiza el uso de agua y se aumenta el volumen de agua que se recicla o reutiliza. En este caso, podemos hablar más claro de una mejora en la gestión de agua en los países ricos. El problema otra vez más es la desigualdad entre los países desarrollados y los países en desarrollo.

Los países desarrollados utilizan un 59% total del agua extraída y los países en desarrollo un 8% (Fernández-Jáuregui, 2003). Las únicas amenazas en este sector, es el constante arrojado de las cargas contaminadas a los afluentes. Los países más pobres, son los más perjudicados, el 70% de aguas residuales industriales contaminadas son arrojadas a las cuencas naturales. (UNESCO, 2003).

#### **3.4.2.1.- Agua como producción de otras fuentes de energía**

El agua no es la única fuente de energía. Ésta es imprescindible para la producción energética en diversas áreas. Sus aplicaciones principales son la producción de electricidad de origen hidráulico y su uso para el enfriamiento de centrales térmicas de energía eléctrica. A pesar de la electricidad generada en el mundo, alrededor de 2.000 millones de personas no disponen de electricidad en absoluto. La energía hidroeléctrica es la fuente de energía renovable más importante y la más extensamente utilizada, representa un 19% de la producción total de electricidad.

Hoy en día hay 45.000 grandes presas en funcionamiento. Éstas presas representan un 19% de la generación de aprovisionamiento eléctrico y el 16% del riego de conreos en el mundo. Por otro lado, muy importante, las presas han tenido un impacto negativo: han provocado la desaparición de bosques, ecosistemas acuáticos y terrestres, y en la mayoría de casos se ha producido el desplazamiento de las personas y de sus lugares de trabajo. Se calcula que mas de 80 millones de personas se han tenido que desplazar por la construcción de presas (UNESCO, 2003).

### **3.4.3.- El agua dulce y los servicios domésticos**

El uso de agua para el consumo doméstico es muy variable según la región del mundo donde nos ubiquemos. Nos encontramos con un desequilibrio enorme. De los 800 litros por persona y día de una ciudad como por ejemplo Los Ángeles, a los 20 litros por persona y día de muchas ciudades africanas o asiáticas.

Es evidente que el problema de escasez del agua para el consumo doméstico, lo encontramos en los continentes asiáticos y africanos, y que las mujeres son las que sufren más este problema ya que muchas veces han de andar muchísimos kilómetros para poder acceder a un mínimo de agua potable para abastecer a la familia.

### **3.4.4.- El agua dulce en el saneamiento**

Tenemos un problema, la falta de saneamiento, que potencia las enfermedades vinculadas con la falta de agua. Las principales ciudades de Europa y de América del Norte, más del 90% de las familias están conectadas a la red de agua y de las cloacas. Pero en la resta del mundo, la situación es bien diferente. Una enfermedad como podría ser una diarrea, causada por beber agua contaminada, ocasiona 6.000 muertos al día, de éstos 1,96 millones de personas (la mayoría niños menores de 5 años) padecían diarreas infecciosas. (Fernández-Jáuregui 2003)

Si por el saneamiento adecuado, tenemos el lavabo conectado a las cloacas, hay una falta de saneamiento en todo el mundo en vías de desarrollo, incluso podemos encontrarnos con casos de éstos en las grandes ciudades.

La población pobre rural es la que sufre más escasez de agua potable porque normalmente dependen de los recursos de la tierra y el agua para mantener su medio de vida, éste problema es agravado por las superpoblaciones en las ciudades, ya que éstas utilizaran más agua que la población rural.

Por otra parte, los recursos de agua, también se ven afectados por la contaminación. Hay unos 2 millones de Toneladas de basura, residuos industriales, domésticos y agrícolas. Éstos lanzados diariamente en aguas y receptores (UNESCO, 2003).

Las cifras, volvemos a decir, que no son del todo exactas, pero todos se aproximan a éstos números. Se estima que la producción global de las aguas residuales es aproximadamente de 1.500 km<sup>3</sup>. Teniendo en cuenta que 1 litro de agua residual contamina 8 litros de agua dulce, la carga de contaminación en el planeta ronda los 12.000 km<sup>3</sup>. Sobre todo, las poblaciones más afectadas en este sentido, son las más pobres, con un 50% de la población de los países subdesarrollados, expuestos a fuentes de aguas contaminadas. (UNESCO, 2003).

Según la tendencia que se puede percibir en las condiciones meteorológicas extremas, es muy probable que las inundaciones, las sequías, los tifones y los ciclones, aumenten. Así como las sequías constantes de los cabales de los ríos.

Las estimaciones más recientes sugieren que el cambio climático será responsable del 20% de incremento de la escasez global del agua (UNESCO, 2003).

### **3.5.- Conflictos sociales y bélicos sobre el agua**

El agua se ha de compartir de dos maneras sanas: entre sus utilidades y sus diferentes usuarios. En el 2003 había 264 cuencas transfronteras. 145 estados, tenían jurisdicción compartida sobre una cuenca transfrontera, y 21 la tenían exclusiva. Aproximadamente un tercio de las cuencas transfronteras son compartidas por más de dos países.

Una gestión equitativa y sostenible de agua común, requiere instituciones flexibles y dinámicas, capaces de responder a las variaciones hidrológicas, cambios socioeconómicos, valores de la sociedad y cambios de régimen político.

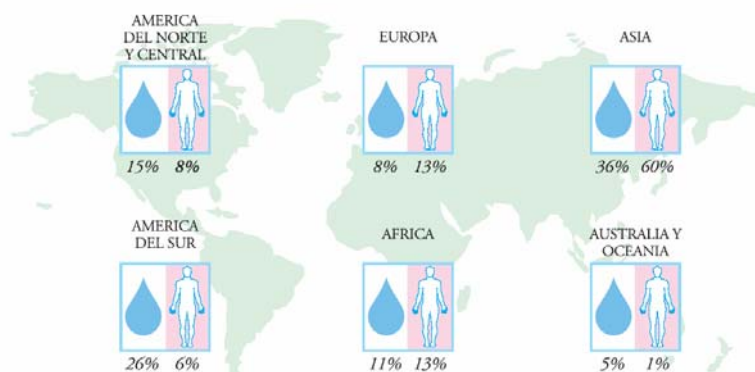
En los últimos 50 años, se han firmado unos 200 tratados relativos a los cursos fluviales internacionales y ha habido mas de 1.000 acontecimientos de cooperación, pero también ha habido más de 500 acontecimientos de conflicto y 7 disputas violentas por culpa del agua. Actualmente, el marco legislativo general es la Convención sobre el derecho de usos no navegables de los ríos internacionales, adoptada por las Naciones



Unidas el año 1997, firmada por 16 estados y ratificada por 9 en la actualidad (Fernández- Jáuregui, 2004).

Si tenemos en cuenta la disponibilidad hoy en día de los recursos hídricos respecto a la población mundial, podremos ver situaciones como las siguientes:

Asia tiene el 60% de la población y sólo el 36% del recurso hídrico; Europa posee el 13% de la población y el 8% del recurso hídrico; en África vive el 13% de la humanidad y tan sólo se dispone del 11% del agua; en cambio, en América del Norte y Central reside el 8% de la población y ésta disfruta del 15% del recurso hídrico; y para comentar finalmente, América del Sur tiene únicamente el 6% de la población del mundo, pero disfruta del 26% de los recursos hídricos. (Fernández- Jáuregui, 2004).



**Fig. 5.- Disponibilidad de recursos hídricos versus población.** Fuente: Programa Hidrológico Internacional, Fernández- Jáuregui, 2004

Como puede apreciarse, el agua efectivamente fue, es y seguirá siendo una fuente de poder, así como un elemento susceptible de generar conflictos entre países, departamentos, provincias, ciudades, e incluso barrios de la misma población. También es evidente que gracias al desarrollo del conocimiento en el área de las ciencias del agua, se puede observar con mucha claridad qué continentes están más expuestos a posibles conflictos de su elevada población y si disponibilidad del recurso hídrico.

El agua, juega un papel muy importante, complejo, tanto en las actividades humanas como en los sistemas naturales. Después de muchos debates a nivel académico y público, se ha reconocido que el agua es un elemento finito y frágil, y que para que sea un bien de dominio público se debe llevar a cabo una gestión multiobjetivo y multidimensional, con la participación de la comunidad, los técnicos y de aquellos que toman decisiones.

La administración de un recurso tan frágil como es el hídrico obliga a compatibilizar los conceptos de cuenca (en la que se desarrolla el ciclo hidrológico) y el país o divisiones políticas menores (donde se aplica una actividad de carácter nacional o local).

Por otro lado, la demanda promedio de agua durante los años ochenta fue del orden de los 2.800 km<sup>3</sup> anuales; sin embargo, el suministro anual fue de aproximadamente de 42.000 km<sup>3</sup>. A partir de estos datos, se observa que, en términos de cantidad, la oferta supera a la demanda y, por tanto, podría preverse que en un futuro no habrían de producirse problemas. Ahora bien, en términos de continentes, ésta no es la situación que se da. Y en términos globales, podemos afirmar que el uso del recurso hídrico está distribuido en un 70% para la agricultura, un 22% para la industria y minería, y sólo un 8% para el consumo doméstico en las ciudades.

Con los antecedentes indicados podemos añadir que la gestión de los recursos hídricos debe compatibilizar la oferta de los recursos (correspondiente al área de las ciencias sociales), en función de la utilización de la ciencia y la tecnología.

Los últimos estudios relativos a la cantidad de los recursos hídricos nos muestran que la cantidad de agua en el planeta se mantiene constante, pero que sin embargo la calidad se deteriora, dando lugar a una disminución del recurso hídrico en términos de su oferta. A su vez, la demanda del recurso hídrico se incrementa proporcionalmente al crecimiento de la población, lo cual hace suponer que un exceso o déficit de la oferta del recurso hídrico da lugar a un conflicto social. Si aceptamos que la tendencia de la demanda será siempre mayor a la oferta, lo cual solo podría generar un conflicto social crónico. Ante esto, la única alternativa sería el desarrollo de técnicas eficientes para

restaurar el sistema y establecer un equilibrio dinámico entre la oferta y la demanda, dando lugar a una armonía social.

A partir del desarrollo de la gestión de los recursos hídricos, se puede definir el concepto de estrés hídrico o conflicto hídrico.

	Sin estrés 1	Bajo estrés 2	Estrés 3	Alto estrés 4	
Pueden hacer frente a una situación hídrica determinada (confiabilidad)	16	76	57	11	País
Ejercen presión sobre los recursos hídricos (uso/recurso)	98	21	22	19	
Sin problemas	27	21	54	58	
Pueden hacer frente a una situación hídrica determinada (confiabilidad)	147	2.025	3.283	241	Población
Ejercen presión sobre los recursos hídricos (uso/recurso)	1.693	2,068	1.462	474	
Sin problemas	830	484	1.180	3.203	

**Tabla 1.-** Clasificación de estrés hídrico por país y población en el año 1995. Elaboración propia. Fuente: Programa Hidrológico Internacional, Fernández- Jáuregui. 2004.

Cuando la demanda de agua es más importante que la cantidad disponible durante un periodo determinado o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad. El estrés hídrico provoca un deterioro de los recursos de agua dulce en términos de cantidad (acuíferos sobre explotados, ríos secos, etc.) y de calidad (contaminación de la materia orgánica, intrusión salina, etc.).

### **3.5.1.- La situación actual sobre conflictos hídricos**

En los últimos cinco años, podemos decir que los conflictos vinculados con el agua, se han ubicado en Oriente Medio. En esta zona viven en una crisis abierta los siguientes países: Siria, Jordania, Israel, Egipto y Yemen; y que existe una crisis en: Arabia Saudita, Irak, Kuwait y Libia (Programa Hidrológico Internacional).

Según dicen algunas fuentes, Oriente Medio actualmente es como “una bomba de relojería del siglo XXI”. Muchos de estos países de Oriente Medio saben lo que es una cuenca compartida y tienen una dependencia del exterior (de los países vecinos) que en algunos casos llega a más del 50%.

Se podría decir que un país es vulnerable, y podría verse amenazado por conflictos por sus recursos hídricos, si su capacidad de sostener su ecosistema acuático y proveer a su población del nivel deseado de desarrollo social y económico está comprometido por la naturaleza de su sistema hidrológico, su infraestructura de recursos hídricos y/o su sistema de administración de recursos hídricos (Paúl Raskin et al., 1997).

### **3.14.- Conclusiones**

Uno de los más graves problemas que se avecina en el siglo XXI es la escasez de agua, entendiendo por ello un agua en cantidad y calidad apta para el consumo humano.

La transferencia del agua de las zonas con excedentes hídricos a las zonas deficitarias es una solución contemplada en numerosas ocasiones, pero no es la ideal a adoptar ya que la tendencia climática actual, las constantes y bruscas variaciones en cuanto a precipitaciones, no permite asegurar las transferencias correctas. Es necesario recurrir, en condiciones desgraciadamente como las sequías, al aporte de recursos externos de naturaleza no convencional (es decir, no proveniente de fenómenos naturales). Uno de los procesos que permiten este aporte externo es la desalación.

## **4.- PROCESOS DE DESALACIÓN**

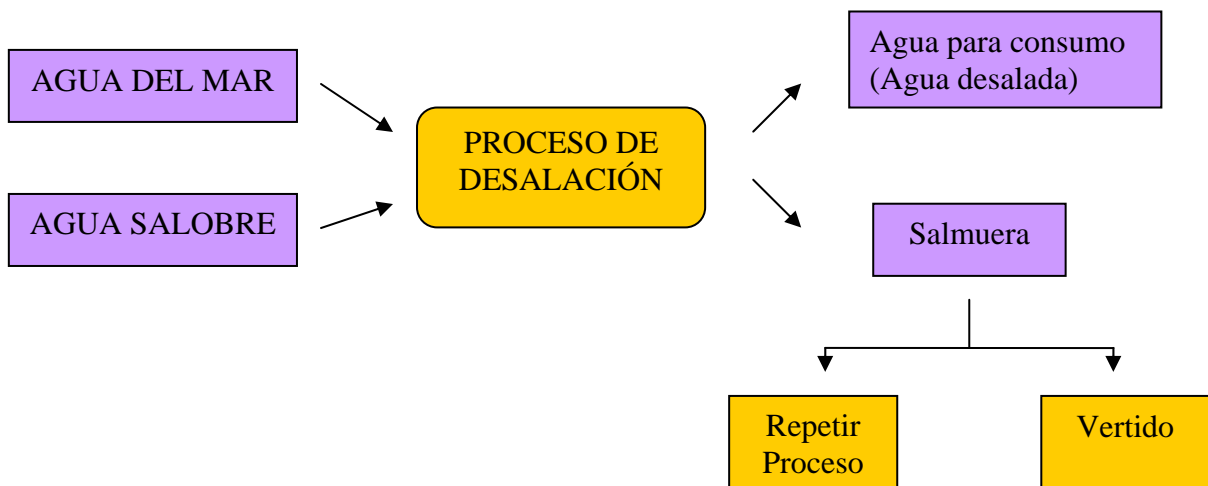
## 4.- Procesos de desalación

### 4.1.- ¿Qué es la desalación?

La desalación o desalinización es un procedimiento que permite separar la mayor parte de las sales que hay en el agua marina o las aguas salobres (se llama agua salobre al agua que tiene más sal disuelta que el agua dulce, pero menos que el agua de mar, el agua salobre es típica de los estuarios y resulta de la mezcla del agua del río correspondiente con el agua del mar) para producir agua dulce de calidad que pueda ser consumida por los seres humanos y emplearse en la agricultura e industrias.

### 4.2.- ¿Qué es una planta desaladora?

Una planta desaladora es una planta industrial, que separa agua salina en dos distintos flujos; uno con una baja concentración de sales disueltas (agua producto), y el otro conteniendo el resto de las sales disueltas (concentrado). Todo ello requiere la utilización de energía para poder funcionar, según que técnica de desalación se utilice el gasto energético puede variar.



**Fig. 6.- Esquema del proceso de desalación.** Elaboración propia. Fuente: AEDyR, (Asociación española de desalación y reutilización), 2007.



Desde el punto de vista físico y químico, las diferencias entre el agua dulce y la salmuera sólo están en la distinta concentración de sales en cada una de ellas. A simple vista no se puede diferenciar entre tres vasos, cada uno lleno de agua de mar, agua dulce y salmuera respectivamente. Podemos observar tres líquidos perfectamente transparentes sin color ni olor. Sólo se distinguen por el sabor, lo que indica la diferente concentración de sales. Las concentraciones de sal en los tres casos son las siguientes:

Tipo de agua	Concentración gramos/litro
Mar	35
Dulce	0,5
Salmuera	69

**Tabla 2.-** Concentraciones de sal en tipo de agua. Elaboración propia. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, salación del agua del mar y el vertido de Salmuera, 2004.

#### 4.3.- Tecnologías utilizadas. Plantas desaladoras

Las diferentes tecnologías utilizadas para desalar han ido evolucionando durante la historia y actualmente se continúa investigando para conseguir fundamentalmente un menor consumo energético, una mayor capacidad y una mejor eliminación de los residuos generados.

Estos diferentes métodos de desalación se pueden dividir principalmente en cuatro grupos: procesos de destilación, de membrana, de congelación y de intercambio iónico con resinas.

Los procesos de destilación (térmicos) imitan el ciclo del agua, calentando el agua a desalar hasta producir vapor que posteriormente condensado pasa a formar el agua producto. Por otro lado, en los procesos de membrana, tales como la electrodiálisis y la ósmosis inversa, el agua en su tratamiento permanece en estado líquido. En los procesos por congelación, el agua pasa por una fase sólida. Finalmente se tratarán procesos de intercambio iónico con resinas.

Los procesos de destilación y los de membranas son los más utilizados, siendo el proceso de membranas de ósmosis inversa el más utilizado en el mediterráneo. Debido a ello será ampliamente estudiado en el presente proyecto.

Es importante considerar que antes de someter el agua al proceso de desalación hay que proceder, en general, a un pretratamiento (desinfección, filtración, descarbonatación, desincrustación, precipitación, etc.) para eliminar sólidos disueltos y en suspensión, que dificultarían y encarecerían el coste del proceso de desalación propiamente dicho. Suele aplicarse también una fase de post-tratamiento que incluye principalmente una remineralización, ajuste de pH y desinfección.

#### **4.3.1.- Procesos de destilación (térmicos)**

La energía necesaria para la desalación es obtenida de combustibles fósiles (carbón, gas natural, petróleo, etc.). Consiste en evaporar agua para conseguir vapor que no contiene sales. El vapor se condensa posteriormente en el interior o exterior de los tubos de instalación.

Se ha de conseguir calentar el agua hasta alcanzar su punto de ebullición de la forma más económica posible. Esto se consigue controlando el punto de ebullición mediante la sucesiva reducción de presión y temperatura de trabajo existente en las diferentes etapas donde se calienta el agua. Este control hace posible la ebullición múltiple del agua y posibilita controlar la presencia de incrustaciones en los intercambiadores de proceso.

Recordemos que el punto de ebullición de un líquido es la temperatura a la cual la presión de vapor líquido se iguala a la presión atmosférica que se ejerce sobre el mismo. La presión que actúa sobre un líquido influye significativamente sobre su punto de ebullición. El agua hierve (bulle) a 100 °C si está sometida a una presión de 1 atmósfera, sin embargo, si la presión disminuye hasta 0,06 atmósferas, la ebullición se produce a 0°C. Es por ello que en lugares de gran altitud, donde la presión es menor, el agua puede bullir a temperaturas menores a 100 °C.

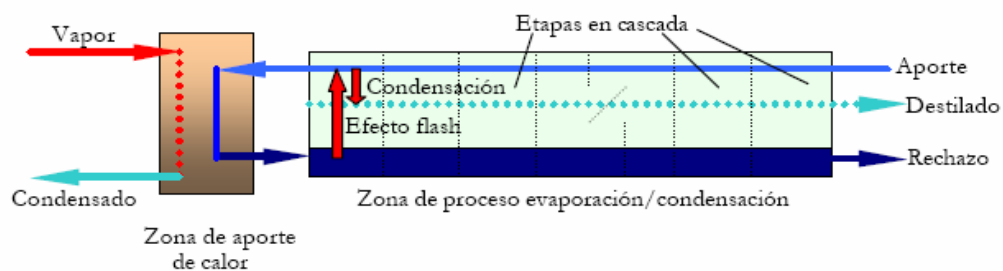
A continuación se describen procesos de destilación (térmicos) más habituales utilizados en instalaciones de media y alta capacidad de proceso.

#### 4.3.1.1.- Destilación súbdita por efecto Flash Multietapa (MSF) (Térmico por evaporación súbdita en múltiple etapa, multiflash).

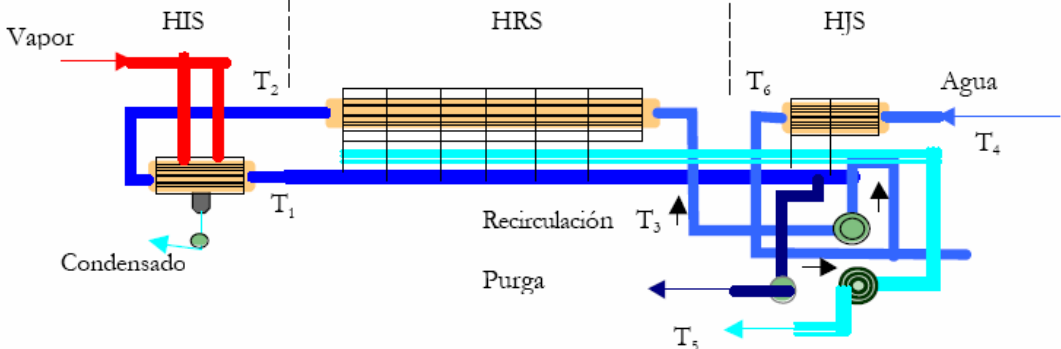
La destilación Flash Multietapa (MSF) consiste en calentar agua de mar en el calentador de salmuera mediante la condensación de vapor en un intercambiador inicial por el que se hace circular el agua de mar. Posteriormente el agua de mar caliente se hace pasar a la primera etapa a una presión ligeramente inferior, a la cual se produce su súbdita ebullición parcial.

El vapor producido se condensa en el haz tubular por donde circula el agua de mar hacia el calentador de salmuera, recogándose el condensado como agua producto y llevando el resto hacia el siguiente efecto donde, al existir una presión inferior, se repite el ciclo (por eso el proceso se llama multietapa, ya que si no se realiza en cascada consumiría demasiada energía para desalar), y al final parte de dicha salmuera es tirada de nuevo al mar.

Normalmente hay recirculación en el proceso MSF para reducir el aporte de agua bruta a desalar y el consumo de aditivos químicos, pero existen plantas de un único paso (sin recirculación del agua bruta precalentada, Fig. 7), que en general tienen menor eficiencia que las plantas de recirculación.



**Fig. 7.-** Descripción general de una planta MSF sin recirculación de salmuera. Fuente: Fundación Circe, 2001.



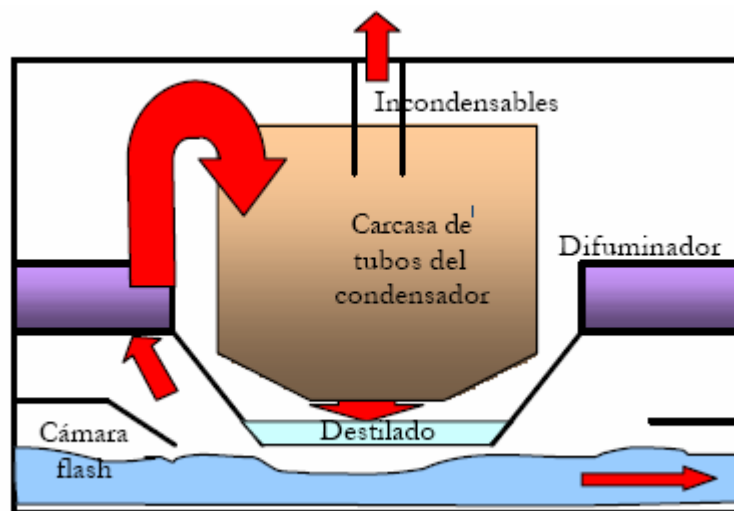
**Fig. 8.-** Esquema de una planta MSF con recirculación. Fuente: Fundación Circe, 2001.

Siguiendo el esquema de una planta con recirculación (Fig. 8), la alimentación de la planta (a temperatura  $T_4$ ) se calienta por el interior de los tubos en la Sección de Rechazo (Heat Reject Section, HJS), llamada así porque es donde se tira parte del calentamiento innecesario de la planta (agua bruta tirada a la temperatura  $T_6$ ). El resto del agua salada (llamado aporte o make-up) precalentada pasa por un desgasificador (que no aparece en la figura 4 por simplicidad) y se mezcla con una porción de la salmuera de la última etapa (la otra porción purga o blowdown, es tirada al mar como una purga de salmuera) para conseguir finalmente el caudal de recirculado (a temperatura  $T_3$ ) que se precalienta en la Sección de recuperación de calor (o comúnmente llamada Heat recovery Section, HRS). Dicho caudal sale de esta sección y se calienta hasta la temperatura de saturación (máxima temperatura de la salmuera, TBT o  $T_1$ ) de la primera etapa de la sección de recuperación en el calentador de salmuera o Heat Input Section (HIS), un condensador que consume vapor generalmente proveniente de una planta de producción eléctrica (aunque también puede utilizarse cualquier vapor residual de un proceso industrial). Este caudal es evaporado súbitamente de forma sucesiva en las etapas en cascada de la sección de recuperación de calor y luego de la sección de rechazo. Cuando la temperatura de alimentación de la planta es menor de un límite (que implicaría provocar un vacío excesivo en la última etapa de la sección de rechazo) hay recirculación de agua para mantener como mínimo ese límite para una mejor operación (tampoco aparece por simplicidad en la figura). El esquema que muestra la planta sin recirculación (Fig. 7) de salmuera es mucho más sencillo.

Las dos secciones de recuperación antes mencionadas (HRS, HJS) recuperan en torno al 90% de calor necesario para la evaporación del agua, en torno a los 2.300 kJ/kg para presiones de operación cercana a la atmosférica.

La temperatura de salmuera, en la que se trabaja no debe ser superior a 110 °C, ya que a partir de esta temperatura comienza a producirse corrosión en las superficies metálicas de intercambio. Esto hace que la eficiencia térmica de las plantas quede en la práctica limitada por la temperatura de operación.

La Fig. 9 muestra la circulación del vapor evaporado súbitamente dentro de una etapa en la sección transversal de una etapa cualquiera (tanto de la sección de recuperación como la de rechazo) con el haz de tubos de condensado que contiene en su parte superior una extracción de gases no condensables, y los difuminadores de vapores a ambos lados del haz, que no permiten el paso de las burbujas que pudieran formarse en el proceso flash. Como se observa en la figura 9, normalmente los intercambiadores-condensadores de las plantas MSF suelen ser de tipo horizontal, con los tubos de cada sección conectados en zig-zag a modo de un intercambiador de un número de pasos igual al número de etapas de la sección de recuperación y/o rechazo.



**Fig. 9.-** Sección transversal de una etapa de una MSF. Fuente: Fundación Circe, 2001.

Para plantas de recirculación, el caudal de reciclado suele ser 10 veces el caudal destilado, que a su vez es más o menos otras diez veces el caudal de vapor consumido por la planta desaladora. En una planta de un solo paso el flujo de alimentación suele ser también de un orden de magnitud mayor al del destilado producido.

La operación de una planta MSF está limitada por dos temperaturas: la máxima temperatura del agua salada ( $T_1$  en la Fig. 8) y la temperatura de la última etapa. La  $T_1$  depende de la calidad del vapor suministrado externamente, de la prevención de la formación de depósitos de naturaleza calcárea (fenómeno de ‘scaling’) y de la concentración de esa agua y el tipo de sales disuelta en ella. Sin embargo, en la temperatura de la última etapa ( $T_5$ ) influye sólo la temperatura de entrada del agua de mar y de la presión que el sistema de vacío puede mantener en esta etapa. Su diferencia se define como el margen de la operación de la planta, y es el responsable de la cantidad de destilado producida en la misma.

El parámetro de operación básico de una MSF es el GOR (Gain Output Ratio, o toneladas de agua dulce producidas por toneladas de vapor consumido), una medida del consumo energético de naturaleza térmica necesario en estas plantas. En la práctica un GOR de 12 es el límite. Es un parámetro que da una idea de cantidad de energía recuperada en el proceso de evaporación de las cámaras flash, y por lo tanto debe ser lo más alto posible. La producción depende lógicamente del caudal de agua bruta introducida y del salto térmico disponible (la diferencia entre las 2 temperaturas antes comentadas).

Teóricamente el número de etapas no es influyente para un GOR dado, pero el número de etapas determina el área de intercambio de calor y por lo tanto para una producción dada se necesita un número de etapas más o menos fijo. Normalmente, 20 etapas es normal para este tipo de plantas, con una diferencia entre etapas de unos 3 °C. El ratio de funcionamiento (PR, a veces mal llamado GOR, se diferencian en que el PR tiene normalizado el calor latente de vaporización del vapor consumido), un PR de 8 suele ser normal en plantas convencionales. Una variable similar a las anteriores es el consumo específico (NC) o aporte de energía por kg. de agua destilada producida (en kJ/kg). Como puede suponerse, el ratio de funcionamiento aumenta con el margen de temperaturas de operación, aunque ambas temperaturas están limitadas por la formación

de depósitos calcáreos y por el ambiente respectivamente. La superficie de intercambio y la suciedad de los tubos también son factores a tener muy en cuenta en los índices de operación de la MSF.

La capacidad de este tipo de plantas es muy grande. Teniendo en cuenta la limitación de una temperatura máxima de la salmuera calentada de 120 °C por el fenómeno de scaling, el margen de temperaturas de operación puede llegar a los 90 °C. Haciendo circular gran cantidad de agua salada por los tubos y dimensionando la planta eléctrica (turbina de vapor, turbina de gas o ciclo combinado) para que nos proporcione en cada momento el vapor suficiente y en las condiciones requeridas, se pueden llegar a unidades de más de 50.000 m<sup>3</sup>/día. Un ejemplote ello es la planta de Al Taweelah B (Abu Dhabi, Emiratos Árabes Unidos), construida en el año 1996 con 6 unidades gemelas MSF de 57.600 m<sup>3</sup>/día permitiendo el abastecimiento del equivalente a 900.000 personas.



**Fig. 10.-** Planta desaladora Al Taweelah B (Abu Dhabi, Emiratos Árabes Unidos). *Italimpianti* (1996). Fuente: Fundación Circe, 2001.

Las principales ventajas de este proceso son:

- Es especialmente válido cuando la calidad del agua bruta no es buena (alta salinidad, temperatura y contaminación del agua aportada).
- Su acoplamiento con plantas de potencia para formar sistemas de cogeneración es muy fácil y permite una gran variabilidad de rangos de operación en ambas plantas.
- Su robustez en la operación diaria frente a otros procesos de destilación es notoria.
- La capacidad de las plantas MSF es mucho mayor que otras plantas destiladoras, en virtud a la cantidad de etapas conectadas en cascada sin problemas de operación.

Sin embargo plantea los siguientes inconvenientes:

- Su consumo específico, definido como la cantidad de energía consumida para producir 1 m<sup>3</sup> de agua desalada, es de los más altos de los procesos estudiados.

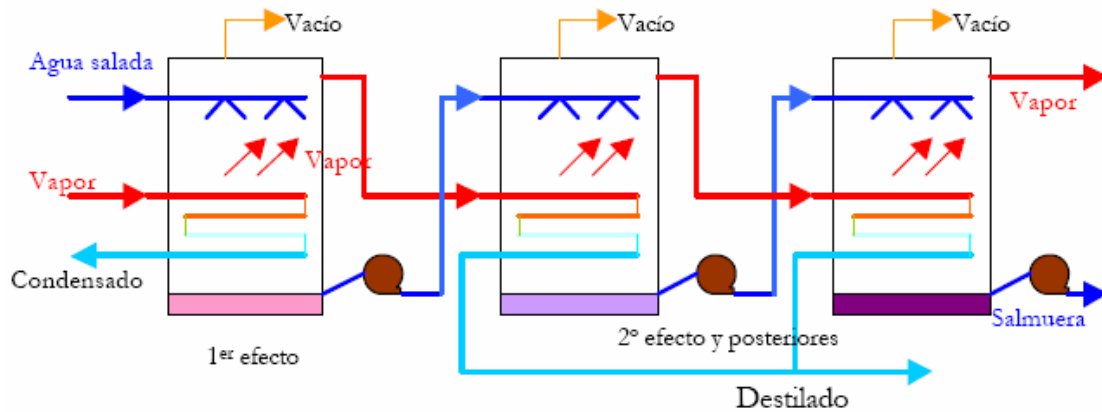
A este consumo contribuyen el consumo térmico proveniente de la planta productora de electricidad, más alto que otros procesos de destilación debido al efecto flash; y el consumo eléctrico debido al gran número de bombas necesarias para la circulación de los flujos de planta.

#### **4.3.1.2.- Destilación por múltiple efecto (MED) (Térmico de doble o múltiple efecto).**

Al contrario que en el proceso MSF por efecto flash, en la destilación por múltiple efecto (MED) la evaporación se produce de forma natural en una cara de los tubos de un intercambiador aprovechando el calor latente desprendido por la condensación del vapor en la otra cara del mismo. Una planta MED (Multi-Effect Distillation) tiene varias etapas conectadas en serie a diferentes presiones de operación dichos efectos sucesivos tienen cada vez un punto de ebullición más bajo por el efecto de dicha presión. Esto permite que el agua de alimentación experimente múltiples ebulliciones, en los sucesivos efectos, sin necesidad de recurrir a calor adicional a partir del primer efecto.



El agua salada se transfiere luego al efecto siguiente para sufrir una evaporación y el ciclo se repite, utilizando el vapor generado en cada efecto. Normalmente también existen cámaras flash para evaporar una porción del agua salada que pasa al siguiente efecto, gracias a su menor presión de operación.



**Fig. 11.-** Destilación múltiple efecto (MED) con evaporadores horizontales. Desalación como alternativa al PHN. Fundación Circe, 2001.

La primera etapa se nutre de vapor externo de un sistema recuperativo, una turbina de contrapresión (ó extracción de una de condensación). Un condensador final recoge el agua dulce en la última etapa precalentando el agua de aportación al sistema. Por lo tanto las plantas MED también conforman sistemas de cogeneración al igual que las MSF consumiendo una porción de energía destinada a priori a la producción eléctrica.

La destilación por múltiple efecto no es un proceso solamente utilizado para la desalación. La industria azucarera utiliza constantemente destiladores de múltiple efecto, aunque en este caso el propósito no es obtener destilado sino concentrar mezclas de otra naturaleza a la estudiada aquí.

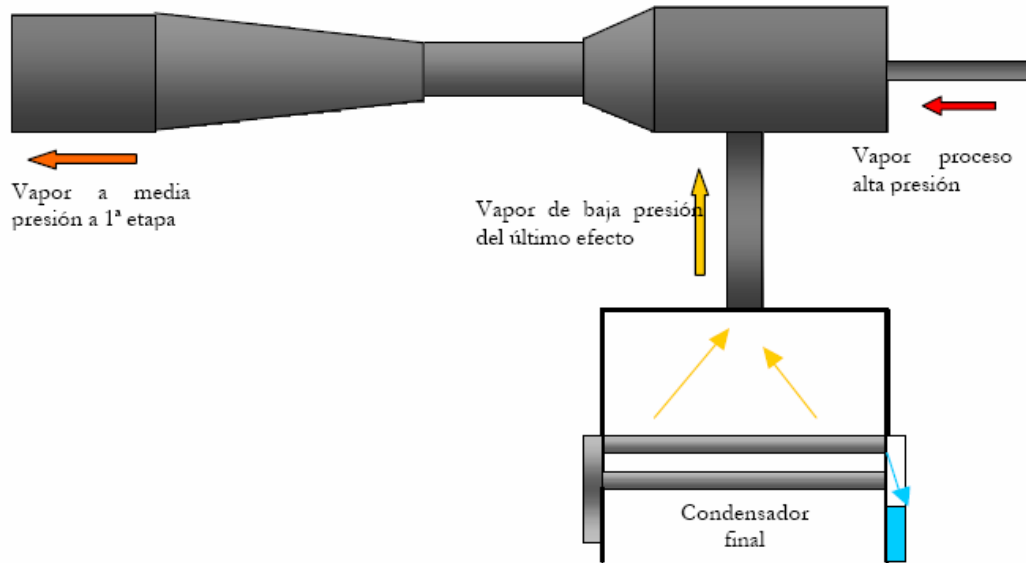
La capacidad de este tipo de plantas suele ser más reducida que las MSF (nunca suele superar los 15.000 m<sup>3</sup>/día), aunque ello se debe mas a razones de índole política que operativa: las MSF más grandes se instalan en Oriente Medio y las mayores MED están instaladas en las islas del Caribe para abastecer de agua estas zonas de gran presión turística. También es verdad que el número máximo de efectos conectados en serie raramente es mayor de 15, a excepción de las MED con múltiples efectos integrados en cada uno de ellos, llegando en este caso a un número total de más de 50.

Sin embargo, tienen un mejor rendimiento global con respecto a una MSF: el GOR (Gain Output Ratio) de este tipo de plantas puede llegar a 15 sin ningún problema, reduciendo por lo tanto el consumo específico de este proceso respecto de una planta MSF con idénticas capacidades. Ello se debe principalmente a la irreversibilidad asociada al proceso de separación flash que aparece en los procesos MSF. Además el consumo eléctrico es menor que la MSF ya que necesita menos bombas de circulación al no existir recirculación de salmuera.

Ello implica que el peso de este proceso en el contexto mundial de la desalación es mucho menor que el de las MSF ó la ósmosis inversa (OI) que se comentará posteriormente.

#### **4.3.1.3.- Destilación por Compresión térmica de vapor (TVC).**

La compresión térmica de vapor (TVC, Thermal Vapor Compression) obtiene el agua destilada con el mismo proceso que una destilación por múltiple efecto (MED), pero utiliza una fuente de energía térmica diferente: son los llamados compresores térmicos (o termocompresores), que consumen vapor de media presión proveniente de la planta de producción eléctrica (si tenemos una planta dual, sino sería de un vapor de proceso obtenido expresamente para ello) y que succiona parte del vapor generado en la última etapa a muy baja presión, comprimiéndose y dando lugar a un vapor de presión intermedia a las anteriores adecuado para aportarse a la 1ª etapa, que recordemos era la única que consume energía en el proceso.



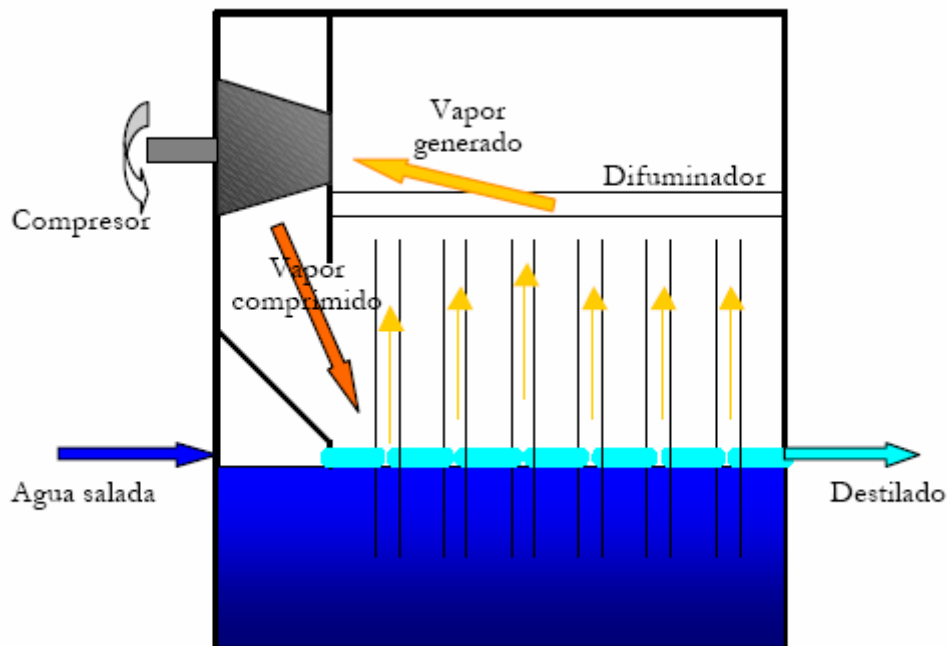
**Fig. 12.-** Esquema del termocompresor acoplado a una planta TVC. Desalación como alternativa al PHN. Fuente: Fundación Circe, 2001.

La figura 12 muestra el esquema típico de una planta TVC con intercambiadores de tubos horizontales.

El rendimiento de este tipo de plantas es similar a las de las plantas MED, sin embargo su capacidad desaladora puede ser mucho mayor al permitirse una mayor adaptabilidad de toma de vapor de las plantas productoras del mismo. Muchas veces se las considera el mismo proceso, pero aquí se tratarán individualmente ya que el consumo de energía de la planta se realiza por un equipo diferente. Como ejemplo puede destacarse el proyecto de construcción en el sudoeste de California de una planta TVC y múltiple efecto por etapa de alrededor de 340.000 m<sup>3</sup>/día.

#### 4.3.1.4.- Compresión mecánica de vapor (CV)

En la compresión mecánica de vapor (CV) evapora un líquido, en este caso el agua salada, en un lado de la superficie de intercambio, y se comprime lo suficiente para que condense en el otro lado y pueda mantenerse el ciclo de destilación de agua salvando las pérdidas del proceso y la elevación de la temperatura de ebullición del agua salada respecto a la pura.



**Fig. 13.-** Diagrama de la compresión de vapor (CV). Desalación como alternativa al PHN.  
Fuente: Fundación Circe, 2001.

En la figura 13 podemos ver el esquema de un compresor de vapor acoplado a un intercambiador de tubos verticales (VTE) de una única etapa, simplificando todos los elementos auxiliares podemos ver que el vapor interior de los tubos es comprimido a presión atmosférica en torno a 0.2 bares (un sobrecalentamiento de unos 5 °C) en un compresor volumétrico especial para trasegar vapor. El vapor ligeramente sobrecalentado se condensa en el exterior de los tubos del intercambiador, siendo recogido por una bomba en su parte inferior.

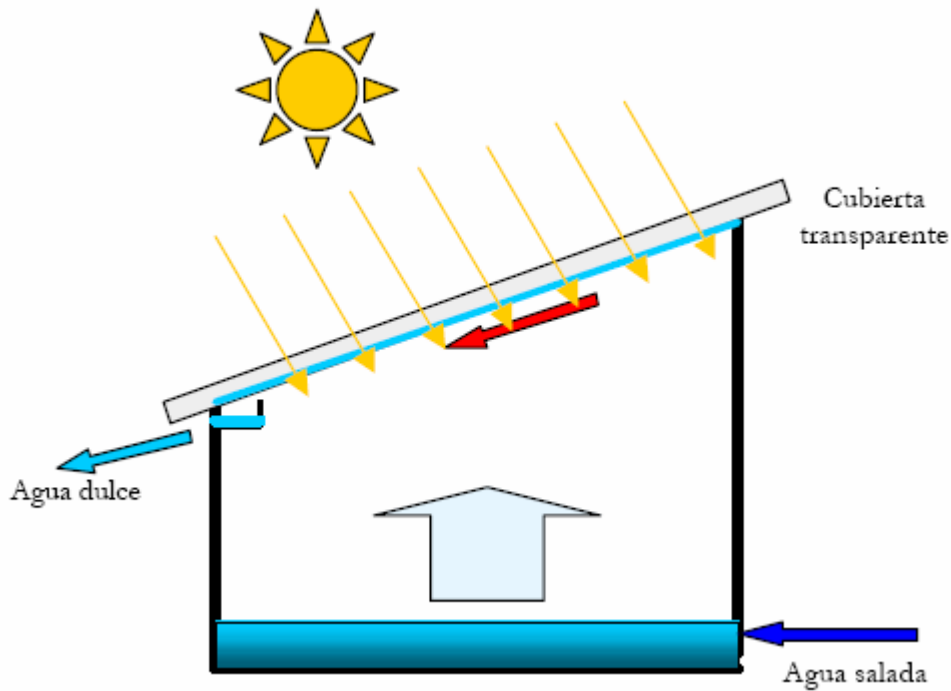
Normalmente el consumo eléctrico equivalente está sobre los 10 kWh/m<sup>3</sup> (la mitad que una planta MSF). Tiene un gran inconveniente: la inexistencia de compresores volumétricos de vapor de baja presión de tamaño suficiente para una producción considerable. Así no se conocen unidades CV mayores de 5.000 m<sup>3</sup>/día, y estos compresores sólo permiten un máximo de 3 etapas a diferentes presiones conectadas en cascada (si fueran necesarias más etapas harían falta instalar nuevos compresores).

Finalmente, destacar que la compresión mecánica de vapor es un proceso muy utilizado en la industria, generalmente en procesos de concentración de la industria alimentaria (zumos, quesos, etc.).

#### **4.3.1.5.- Destilación solar**

La energía solar es el método ideal para producir agua en zonas áridas y muy aisladas del resto de poblaciones. A pesar de tener un coste energético nulo y escasa inversión necesaria, su baja rentabilidad reside en su escasa producción por metro cuadrado de colector al destilarse tan sólo unos litros al día en el caso de condiciones climatológicas favorables. Por lo tanto no se han desarrollado a gran escala en lugares con un consumo elevado de agua dulce. Hay varias formas de producir agua dulce usando la energía solar.

En la figura 14 podemos ver el esquema de un principio básico, es el del efecto invernadero: el sol calienta una cámara de aire a través de un cristal transparente, en cuyo fondo tenemos agua salada en reposo. Dependiendo de la radiación solar y otros factores como la velocidad del viento (que enfría el vidrio exterior), una fracción de esta agua salada se evapora y se condensa en la cara interior del vidrio. Como dicho vidrio está colocado inclinado, las gotas caen en un canal que va recogiendo dicho condensado evitando que vuelvan a caer en el proceso de condensación a la lámina inferior de salmuera. Aunque pueden utilizarse técnicas de concentración de los rayos solares apoyándose en lentes ó espejos (parabólicos ó lisos), no suelen compensar las mayores pérdidas de calor que ello acarrea y su mayor coste económico.



**Fig. 14.-** Esquema de un colector solar para destilación. Desalación como alternativa al PHN.  
Fuente: Fundación Circe, 2001.

Este tipo de destiladores solares se denominan de batea y efecto simple, y presentan rendimientos típicos del 30% (cantidad de agua destilada producida, frente a la cantidad máxima que podría producirse considerando la radiación solar incidente de la que se dispone y el calor de vaporización del agua). La mayor pérdida de energía se produce en forma de calor latente de condensación del agua en la cubierta, con lo que la energía que es necesaria para producir el destilado es aproximadamente igual a su calor de vaporización (2270 kJ/kg, 630kWh/m<sup>3</sup>). La producción específica diaria se encuentra entre 1 y 4 litros por cada m<sup>2</sup> de superficie.

Si se reutilizara dicho calor en dos o más etapas, se podría incrementar el rendimiento térmico de los destiladores solares. En un destilador solar como el descrito anteriormente (tipo batea), se puede incorporar una segunda superficie (o más) entre la parte de la piscina y la cubierta. Este tipo de destiladores solares se denominan multi-efecto.



**Fig. 15.-** Destilador solar instalado en El Paso (Texas, 1995). Fuente: El Paso Solar Energy Association, 2007.

Otro tipo de destiladores solares, son los de mecha: el agua de alimentación fluye lentamente a través de un material poroso (mecha), que absorbe la radiación. Este tipo permite que el material poroso por el que discurre el agua pueda inclinarse, para obtener un mejor ángulo con el Sol, consiguiendo una menor reflexión y una mayor superficie efectiva. También el material que conforma la mecha permite tener una capa de agua a desalar con un espesor muy fino, pudiéndose calentar más rápidamente y al presentar una menor capacidad calorífica obtener una temperatura mayor.

El proceso de destilación solar no se emplea para la producción de grandes cantidades de agua desalada, es apropiado para el suministro de familias o pequeños núcleos de población, donde la energía solar y la mano de obra sean abundantes pero no se disponga de suministro eléctrico.

Algunas de las principales características de este tipo de planta desaladora son:

- Instalación lo más sencilla posible.
- Construir con materiales de fácil disponibilidad.
- Resistir vientos moderados.
- Ser al mismo tiempo superficie captadora de lluvia.

Otra técnica de desalación solar térmica directa se basa en la preevaporación a través de membranas. Consistente en la separación de una mezcla de dos líquidos mediante su vaporización parcial a través de una membrana no porosa. Su funcionamiento sigue el siguiente proceso:

- Se hace circular agua salada a lo largo del interior de unas membranas en forma de tubo. Que hacen también las funciones de colectores solares.
- Estas membranas son de color negro para mejorar su eficiencia, y se montan bajo una cubierta con una estructura tipo invernadero o túnel, lo que evita la posterior pérdida de vapor.
- El agua salada atraviesa la pared de la membrana por permeación, y llega hasta la superficie de la misma.
- Una vez sobre la superficie de la membrana y gracias al calor, dicho caudal se convierte en vapor (vaporización) que fluye hasta la parte más fría del sistema donde es condensado.
- El destilado líquido obtenido es recogido en unos canales, como resultado final, los compuestos no deseados (sales, metales pesados, sólidos en suspensión...) acaban concentrados en el interior de la membrana y son posteriormente eliminados.

Con este proceso se ha conseguido porcentajes de conversión del 90% (e cada 100 partes de agua de aporte, 90 se obtienen como destilado y 10 como salmuera o vertido). La producción específica por unidad de superficie es muy reducida (entre 5 y 7 litros por m<sup>2</sup> y día), por lo que respecta a las temperaturas de operación, se sitúan entre los 50 °C y los 80 °C. Un factor muy positivo a destacar es que no permite que elementos volátiles puedan evaporarse y acaben junto con el destilado.

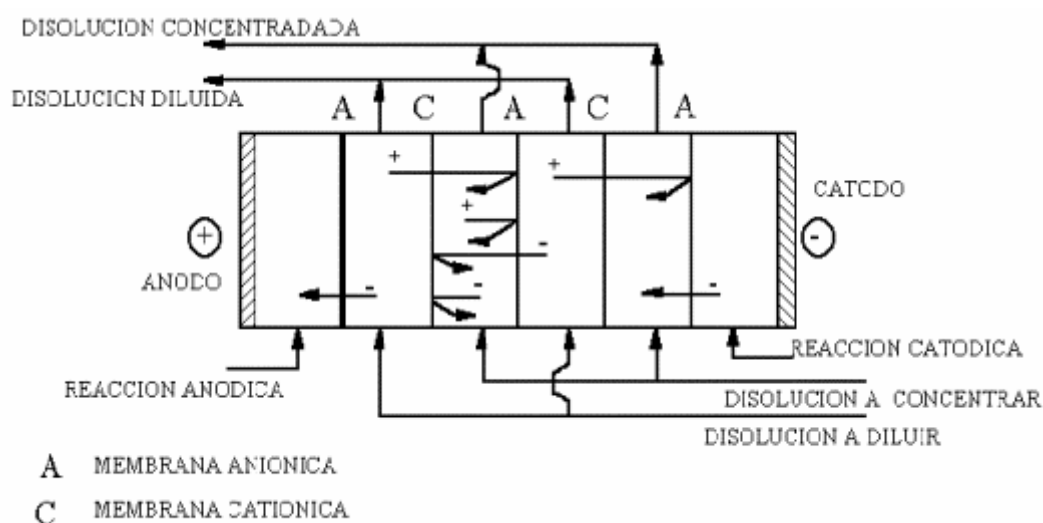


#### 4.3.2.- Procesos de desalación por Membranas

A continuación se describen los procesos de desalación por membranas más habituales, utilizados en instalaciones de media y alta capacidad de proceso.

##### 4.3.2.1.- Electrodialísis

La electrodialísis se desarrolló después de la II Guerra Mundial. Mediante este procedimiento, el agua a desalinizar es introducida en una celda a reactor, donde se colocan de forma alternada una serie de membranas semipermeables catiónicas y aniónicas, entre dos electrodos, de forma que al aplicar una diferencia de potencial se produce una migración de los iones (Figura 16) de la solución salina hacía los electrodos correspondientes, atravesando las membranas alternadas formándose una solución concentrada en uno de los compartimentos, y en el otro compartimento agua exenta de sal.



**Fig. 16.- Esquema de desalación por electrodialísis.** Fuente: Universidad de Alicante, 2002.

Es un proceso que sólo se puede separar sustancias que están ionizadas y por lo tanto su utilidad y rentabilidad está sólo especialmente indicada en el tratamiento de aguas salobres ó reutilización de aguas residuales, con un consumo específico y de mantenimiento comparable en muchos casos a la ósmosis inversa. La energía eléctrica consumida es directamente proporcional a la cantidad de sales extraídas del agua (para

aguas con 5 gr. /l de sales totales disueltas, el consumo de energía eléctrica suele estar entre 1 y 2 Kwh/m<sup>3</sup>).

En la electrodiálisis son sales disueltas las que atraviesan las membranas y no el agua. En cambio en la ósmosis inversa, que puede considerarse como una hiperfiltración, es el agua la que atraviesa las membranas. La electrodiálisis sólo elimina las partículas cargadas eléctricamente, mientras que la ósmosis inversa elimina las partículas cargadas y no cargadas.

Las plantas de electrodiálisis deben disponer de bombas para obligar al producto y al agua residual a atravesar las membranas, una fuente generadora de electricidad y una serie de membranas que se conocen por “apilamientos de membranas”. Estos apilamientos están constituidos por membranas catiónicas, que permiten el paso de los iones positivos, pero no los negativos, que se alternan con otras aniónicas, que permiten el paso de los iones negativos, pero no de los positivos. Cada pareja de membranas está separada por un espaciador de plástico (de 1mm de espesor aproximadamente), que contiene el líquido entre las membranas, lo dirige a lo largo de la superficie a través de éstas y dispone de colectores para la alimentación del agua y de otros de recogida de los residuos y corrientes de productos separados.

El cambio de polaridad previene de las incrustaciones disolviendo las posibles precipitaciones y enviándolas al desecho; reduce la formación de fango, lama o similares en la superficie de las membranas; elimina la necesidad de dosificación continua de productos químicos en la mayoría de los casos; y genera limpieza automática de los electrodos con el ácido formado durante la operación anódica.

Las principales propiedades de las mencionadas membranas de electrodiálisis son:

- Baja resistencia eléctrica.
- Insoluble en soluciones acuosas.
- Semirígida para facilitar el manejo durante el montaje de la pila.
- Resistente a cambios de pH entre 1 y 10.
- Utilizable a temperaturas superiores a 46 °C.
- Vida útil muy elevada.

- Resistente al ensuciamiento.
- Impermeable al agua bajo presión.
- Membranas duras.
- Estables al cloro.

#### **4.3.2.2.- Ósmosis inversa**

Ósmosis se define como el fenómeno consistente en el paso del solvente de una disolución desde una zona de baja concentración de soluto a una de alta concentración separadas por una membrana semipermeable.

Consiste en utilizar una membrana semipermeable para separar y para quitar los sólidos disueltos, los orgánicos, los pirogénicos, la materia coloidal submicro-organismos, virus y demás bacterias del agua. El flujo del agua que fluye por la membrana, es forzado por presión a que pase de la parte de mayor concentración hacia la parte de menor concentración, la presión debe ser superior a la presión osmótica. La ósmosis inversa es capaz de quitar 95%-99% de los sólidos disueltos totales (TDS) y el 99% de todas las bacterias, así proporcionando un agua segura y pura.

##### **4.3.2.2.1.- Antecedentes histórico – científicos**

Lo primero, y quizás lo más importante, es resaltar que la ósmosis se le debe la vida, dicho de esta forma quizás suena muy serio, pero veremos más adelante que los primeros estudios sobre la ósmosis o como se le llamó entonces proceso osmótico se desarrollan en los principios de la medicina, la biología, la fisiología, etc. Nos tendremos que remontar a finales del siglo XIX, para encontrar las primeras explicaciones.

Poco a poco, las disciplinas ligadas a la medicina y la biología, han ido dejando paso a la física, química y matemáticas en el intento de explicar el fenómeno osmótico; dado que se ligan conceptos como: concentraciones, solutos, solventes y energía. Son las leyes del equilibrio termodinámico las que más se acercan a una descripción científica del fenómeno, pero sin llegar a ella, como veremos más adelante.

A pesar de hacer más de 150 años que se descubrió el fenómeno de la ósmosis, su verdadero significado físico permanece oculto todavía en nuestros días.

La ósmosis aparece ligada a muchas teorías y fenómenos: teoría de las soluciones, teoría de los equilibrios termodinámicos, barreras de flujo de difusión o, mejor dicho, membranas semi-permeables, pero la realidad es que explicamos los resultados, pero no hay una teoría que explique el flujo osmótico.

Una vez que se descubren las membranas semi-permeables y como se comportan con diferentes soluciones, es fácil explicar con imágenes prácticas que la ingeniería sí que está en condiciones de llevar a cabo.

Hay que resaltar que el campo de aplicación de las membranas semi-permeables está todavía por desarrollar en su totalidad y que cada día se encontrarán aplicaciones en la industria basadas en este concepto.

El siglo XIX es importante para nosotros desde el punto de vista que a mediados de siglo se descubre el fenómeno osmótico. Es cierto que durante este siglo tuvieron lugar en la vieja Europa, desarrollos importantes en química, física, medicina, etc., siempre a la sombra del desarrollo industrial y tecnológico de la industria privada.

Thomas Graham (1805-1869) fue el padre de la química de los coloides y a la vez Raoult (1830-1901) con su teoría de las Soluciones fueron los que sentaron las bases de la fisicoquímica como una disciplina científica. Pero recordemos que simultáneamente numerosos científicos estudiaban dentro del campo de fisiología los fenómenos de transporte celulares en plantas y animales. Por lo tanto, ambas disciplinas se entremezclan: el estudio de los gases y su comportamiento en las soluciones con los estudios de la célula y sus intercambios. En ese momento está descubriéndose el fenómeno osmótico.

Ya hemos dicho anteriormente que la ósmosis se basa en la Teoría de Soluciones y a pesar de que Graham fue el padre de los estudios experimentó sobre el flujo de difusión de un gas a través de un tapón poroso. Aquí apareció el concepto de: “hacer pasar sustancias a través de una membrana semi-permeable, sin consumo de energía exterior.

Fue Fick (1829-1901) quién planteándose los experimentos de Graham sobre bases cuantitativas y por analogías entre los estudios sobre conductividad eléctrica y calorífica, estableció formalmente la matemática de la difusión: “la presencia de un flujo de difusión es debido a una diferencia de concentraciones”.

En la segunda mitad del siglo XIX fue Maxwell (1831-1879), quién dio soporte a las teorías sobre los movimientos moleculares, velocidades relativas, agitación, etc., todo a nivel molecular.

Vemos como poco a poco estamos llegando al fenómeno osmótico que es el que nos preocupa en este punto, pero como casi siempre en la historia de la ciencia, la observación, el experimento va muy por delante de la explicación del fenómeno en sí y su modelización físico-matemática. Se comenta esto porque el descubrimiento de la ósmosis es anterior al de la difusión y la teoría de las soluciones que son la base de la explicación del mismo.

En 1748 Nollet (1700-1770), profesor de física experimental en la Universidad de Navarra, experimentó con una “membrana” realizada a partir de la pared de la vejiga de un animal, colocando alcohol a un lado y agua al otro y comprobó que el agua fluía de un lado al otro para mezclarse con el alcohol pero el proceso contrario nunca se producía. Es decir, Mollet en el siglo XVIII ya descubrió la existencia de “membranas semi-permeables” y ya definió el proceso osmótico que permitía el paso de uno de los componentes de una solución pero no el de los otros. Llamó “solvente” a la sustancia capaz de atravesar la membrana y “soluto” a la que no puede fluir a través de ella.

Pero no fue capaz de explicar porqué ocurría este fenómeno, era imposible poderlo explicar con los conocimientos de la época, hacía falta que pasaran 100 años para poderlo explicar un poco mejor y sentar las bases.

Fue un investigador médico Henri Dutrochet (1776-1847), quién realizó el descubrimiento del fenómeno osmótico a través de membranas semi-permeables, y lo hizo dentro de su objetivo principal: demostrar que las leyes fundamentales de la química y la física y por lo tanto las matemáticas eran capaces de explicar los procesos básicos de la vida.

Por lo tanto, podemos fijar como fecha del descubrimiento del fenómeno osmótico y tal como lo conocemos 1828, fecha en la que Dutrochet publicó: “que si tenían dos soluciones con el mismo soluto, que no puede atravesar la membrana, una a cada lado de una membrana semi-permeable, el flujo osmótico ocurría siempre de la solución menos concentrada a la más concentrada y por supuesto fluía el solvente el cual provocaba una presión sobre la membrana al a que llamó presión osmótica”.

Se tardaron 50 años en medir cuantitativamente la presión osmótica y fue Pfeffer (1845-1920) en 1877 quien lo hizo. Era botánico y necesitó hacerlo dentro de los estudios que realizaba sobre fotosíntesis.

Hasta que Van't Of. (1852-1911) comparó la presión osmótica con la que realizaba un gas, el fenómeno de ósmosis no salió de la mano de los fisiólogos para ir a las de los físico-químicos. Entre él y Gibbs (1839-1903) consolidaron la relación entre la ósmosis y la teoría de las soluciones, y la comparación entre la cinética de la ósmosis y la de los gases fue, como mínimo, original y atrajo el interés de la comunidad científica.

Pero eran ideas equivocadas y fueron abandonadas a principios del Siglo XX, definitivamente la presión osmótica no es el resultado del choque de las moléculas contra el tabique formado por la membrana.

Desde el descubrimiento de la ósmosis por Dutrochet en 1828 hasta su explicación racional por Kedem y Katchalsky en 1958 transcurrieron 130 años debatiendo la naturaleza del flujo osmótico. Hasta que se llegó a una explicación, única que se conoce hasta la fecha del mecanismo de la ósmosis.

1.- En una membrana semi-permeable existe la reflexión total de las moléculas del soluto y la transmisión parcial de las moléculas del solvente. Esto se produce cuando el fluido entra en la membrana.

2.- En la interfase líquido-membrana se produce una disminución en el valor de la presión, esto se produce por una variación de la cantidad de movimiento, al excluir el soluto.

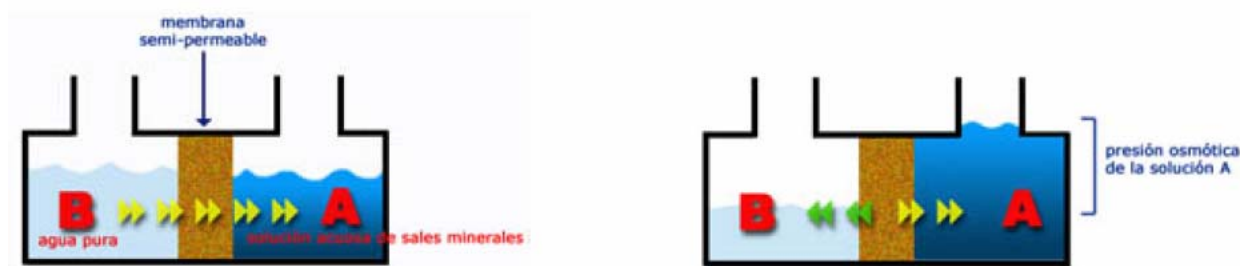
3.- La caída de presión en la interfase puede manifestarse de tres formas distintas:

- Estado de Equilibrio.
- Estado Estacionario.
- Estado Metaestable.

#### 4.3.2.2.2.- Plantas desaladoras por Ósmosis Inversa (OI)

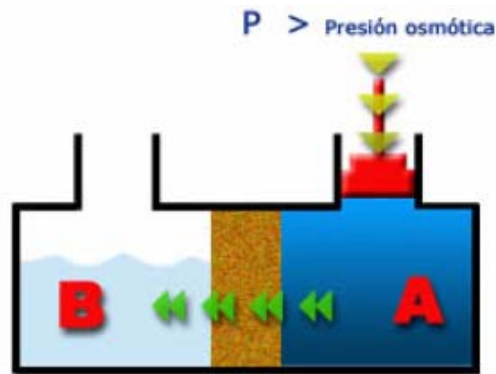
La ósmosis natural o directa es conocida, como hemos visto, desde la antigüedad y consiste en la disolución de un solvente (normalmente agua) y un soluto formado por uno o varios componentes químicos (sales) en disolución.

Si colocamos a un lado de una membrana agua pura y al otro lado agua con sales minerales, pasará agua pura hacia el lado de agua con sales hasta que se equilibren las presiones, la diferencia de altura manométrica entre ambos niveles es lo que conocemos como presión osmótica de la disolución.



**Fig. 17.- Esquema de la Ósmosis.** Fuente: Fundamentos de la Ósmosis Inversa RG Systems, 2002.

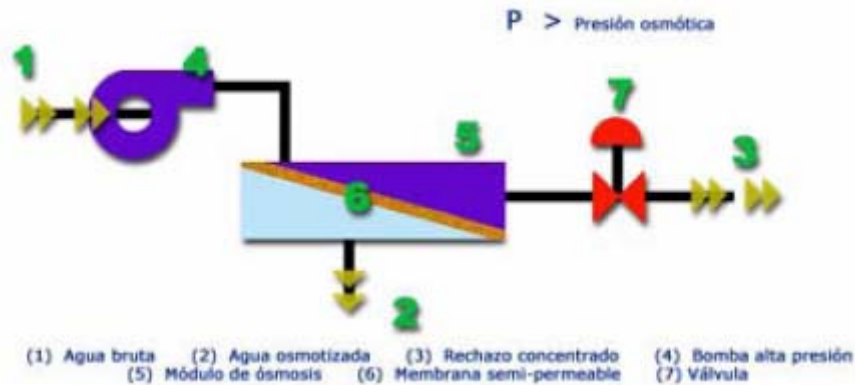
Éste es el fenómeno de natural de la ósmosis. La teoría permitió plantearse qué pasaría si se aumentase la presión del lado del agua con sales (salobre), y a que si se producía el fenómeno inverso, es decir pasaba agua limpia del lado salobre al otro (en la figura del sentido de A hacia B) dispondríamos de un sistema para eliminar sales de un agua cargada de las mismas o también para concentrar un soluto que pudiéramos precisar. Por lo tanto si aplicamos una presión exterior, superior a su presión osmótica natural, a la solución concentrada fluye el disolvente y se produce una concentración de solutos (sales), y en consecuencia conseguiremos disminuir la salinidad de un agua.



**Fig. 18.- Esquema de la Ósmosis Inversa.** Fuente: Fundamentos de la Ósmosis Inversa RG Systems, 2002.

El fenómeno contrario a la ósmosis natural es lo que conocemos como Ósmosis Inversa. Con éste sistema se pueden realizar procesos de separación y/o concentración. Aplicada al agua, permite la separación del 95% de las sales disueltas, con lo cual logramos la reducción de salinidad de aguas salobres y de mar.

Una vez explicado éste fenómeno, lo adaptaremos a las plantas desaladoras.



**Fig. 19.- Esquema general de separación de aguas por ósmosis inversa.** Fuente: Fundamentos de la Ósmosis Inversa RG Systems, 2002.



Una planta desaladora de agua de mar por ósmosis inversa consta esencialmente de siete partes claramente diferenciadas:

### 1. Área de captación del agua de mar

La localización de la toma de agua de mar es el factor que más determina el pretratamiento requerido del agua de alimentación. Hay dos tipos de captación del agua bruta de mar: toma profunda (pozo) y toma superficial (abierta).

El índice de ensuciamiento es menor y casi constante cuando la toma es profunda y alejada de la costa o playa, mientras que si la toma es superficial y cercana a la costa su valor será tanto mayor cuanto mayor sea la actividad biológica por la proximidad de desechos de residuos urbanos. Desde el punto de vista del explotador, es preferible tener una captación del agua bruta de mar a través de pozos, lo que redundará en un menor coste de operación.

Normalmente en el caso de la toma de agua de mar sea profunda, la captación se realiza a través de bombas sumergibles o fundamentalmente con bombas centrífugas horizontales y autocebantes, para evitar los problemas de corrosión por contacto directo del agua de mar. Otro inconveniente que presenta la bomba sumergible es que su tamaño y prestaciones condicionan su elección, no teniendo el mercado una gran variedad para los grandes caudales a captar.

### 2. Pretratamiento físico químico

Para conseguir una operación con resultado satisfactorio, es necesario acondicionar el agua bruta de mar mediante un pretratamiento físico químico, que garantice la total eliminación de problemas al funcionamiento de las membranas de ósmosis inversa.

El tratamiento químico consiste en la adición de una serie de reactivos al agua de alimentación con el fin de adecuar sus características a las mejores condiciones de operación de las membranas. Los tratamientos químicos típicos en una instalación son los siguientes: Desinfección, Acidificación, Coagulación, Decloración y Antiincrustantes.

El tratamiento físico trata de eliminar los elementos sólidos que el agua puede arrastrar. Por tanto en este grupo estarían comprendidos las partículas de tamaño variable entre arenas y coloides, las algas y la materia orgánica.

Conociendo la sensibilidad de los equipos de desalación al contenido en elementos sólidos del agua, es conveniente estudiar como se mencionó anteriormente la forma de realizar la captación del agua de alimentación, puesto que una elección de esta idónea simplifica bastante la operación de la instalación.

La captación de agua es por tanto, aunque sea de una forma indirecta, el principal proceso de tipo físico. Una captación a través de un pozo, sea para agua subterránea salobre o playero para agua de mar, permite obtener un agua más limpia puesto que las distintas capas filtrantes del terreno actúan a manera de un primer filtro. Generalmente se trata de utilizar este sistema frente a lo que se conoce como toma abierta sea de río, embalse o mar.

En estos casos se suele proteger la toma mediante una ó más rejillas, que si no tan selectivas como el propio terreno al menos separan partículas de un cierto tamaño y sobre todo algas y una parte de la materia orgánica. Otra parte de esta última es de naturaleza coloidal y atraviesa no sólo estas rejillas sino muchos de los sistemas de filtración.

Pero la mayoría de los casos es necesario recurrir a otros equipos de separación. Los más comunes en una instalación típica de ósmosis inversa son: Filtros de arena, Filtros de Cartuchos, Filtros precapa, Microfiltración, Ultrafiltración.

### 3. Bombeo a alta presión

Las bombas de alta presión son el corazón de la planta de ósmosis inversa ya que impulsan la solución a tratar hacia las membranas a la presión requerida por éstas.

Es aquí donde se consume mayor parte de la energía del proceso, por lo que la decisión de tipo bomba a instalar tiene una gran importancia. A la hora de seleccionar las bombas hay que tener en cuenta distintos parámetros como su rendimiento, la

inversión necesaria, el mantenimiento requerido, la disponibilidad, los niveles de ruido, las vibraciones, etc.

En el proceso de ósmosis inversa se utilizan generalmente dos tipos de bombas: Alternativas o de desplazamiento positivo y Centrífugas.

a) Alternativas o de desplazamiento positivo

En las bombas de desplazamiento positivo el movimiento de rotación del motor eléctrico de accionamiento se convierte en un movimiento de vaivén mediante un mecanismo biela-manivela-corredera. La corredera va unida a un émbolo o a un pistón, que es el artífice de la impulsión del fluido gracias a unas válvulas situadas en la aspiración e impulsión que sólo permiten que el fluido a bombear circule en un determinado sentido.

El fluido accede a la bomba a través del colector de aspiración y pasa a la cámara de impulsión a través de la válvula de aspiración que se encuentra abierta por la succión que produce el émbolo cuando retrocede, es decir, cuando se mueve hacia su punto muerto inferior. Durante este tiempo, la válvula de descarga permanece cerrada debido a la presión que ejercen sobre ella tanto el resorte con que suele ir provista como el fluido existente en el colector de impulsión.

A medida que el émbolo avanza hacia su punto muerto superior, es decir, cuando penetra en la cámara de impulsión, aumenta la presión del fluido existente en ésta cerrando la válvula de aspiración.

Cuando la presión en la cámara se iguala con la existencia en el colector de impulsión, la válvula de descarga se abre y el líquido es bombeado hacia el exterior repitiéndose la secuencia en cada embolada.

Una bomba con este funcionamiento se dice que es de “simple efecto” ya que la cámara de presión se llena cuando el pistón retrocede y bombea cuando el pistón avanza hacia ella. En las bombas de “doble efecto”, por el contrario, al retroceder el pistón,

llena una cámara de presión con una de sus caras y, al mismo tiempo, con la otra cara impulsa el fluido de otra cámara contigua invirtiéndose la situación cuando el pistón avanza.

Generalmente las bombas de “simple efecto” van provistas de “émbolos”, mientras que las de doble efecto suelen incorporar “pistones”. En las plantas de ósmosis inversa se utilizan generalmente bombas de émbolos, las bombas alternativas se fabrican con distinto número de cilindros.

Las bombas se accionan generalmente mediante motores eléctricos acoplados al eje del piñón de ataque bien directamente, a través de variadores-reductores ó mediante un sistema de poleas y correas.

En una bomba alternativa, el caudal instantáneo tanto a la entrada como en la descarga es igual a la suma de los caudales aspirados e impulsados en cada momento por cada uno de sus émbolos, lo que da lugar a un caudal “pulsado”.

Estas fluctuaciones de caudal no son buenas para el funcionamiento de las membranas porque dan lugar a variaciones de la velocidad de arrastre sobre la superficie de la membrana y, por tanto, a fenómenos de polarización.

La presión que suministra una bomba alternativa es igual a la que pide el sistema siempre que la resistencia mecánica de los elementos de transmisión y la potencia del motor instalado lo permitan, siendo en ese sentido y a diferencia de las bombas centrífugas independiente del número de revoluciones.

Esta particularidad puede originar que en una planta de ósmosis inversa con este tipo de bombas se alcancen presiones elevadas si se cerrase accidentalmente cualquier válvula de la línea de impulsión o del rechazo de la planta, con el riesgo consiguiente que ello supondría. Con este tipo de bombas es, por tanto, imprescindible instalar válvulas de seguridad en la descarga para proteger la instalación frente a cualquier sobrepresión accidental.

Las pulsaciones de caudal originan variaciones en las velocidades del fluido a través de las válvulas y tuberías tanto de aspiración como de impulsión, lo que provoca, a su vez, fluctuaciones en la pérdida de carga del sistema.

Todo ello trae como consecuencia la aparición de pulsaciones de presión en la aspiración e impulsión de la bomba proporcional a la diferencia de los cuadrados de las velocidades y, por tanto, a la diferencia de los cuadrados de los caudales.

Las pulsaciones de presión en la impulsión en la impulsión, dependiendo de las características de elasticidad de las tuberías, pueden llegar a los módulos de ósmosis inversa originando daños más o menos importantes según la magnitud de las pulsaciones. Las pulsaciones dan lugar a movimientos periódicos de los módulos y de sus piezas de interconexión dentro de los tubos de presión, lo que produce un alto desgaste de las juntas tóricas encargadas de asegurar la estanqueidad entre el perneado, la aportación y el rechazo. Todo ello se traduce en la aparición de fugas del rechazo hacia el perneado con el consecuente descenso de la calidad de éste.

Complementariamente, si la frecuencia de las pulsaciones coincide con la frecuencia de vibración propia de las tuberías o bien con la de uno de sus armónicos, pueden producirse fallos tanto en las soldaduras por fatiga como en la bomba por ondas de choque.

La instalación de varias bombas alternativas de un colector común puede ocasionar problemas graves de vibraciones. Con objeto de reducir al mínimo los problemas señalados en necesario instalar, tanto en la aspiración como en la impulsión de las bombas, sendos amortiguadores de pulsaciones que son recipientes cargados con un gas y provistos de una membrana que separa el gas del líquido bombeado. La gran compresibilidad del gas permite amortiguar tanto las variaciones de presión como las de caudal y los efectos de la inercia.

Es conveniente instalar los amortiguadores lo más cerca posible de las bombas con objeto de minimizar los efectos de la inercia. Hay que tener en cuenta que la mayor parte de los amortiguadores no pueden funcionar más que con una presión estática

positiva por lo que su funcionamiento puede presentar problemas cuando se colocan en la aspiración de las bombas sin debidas precauciones.

Si se instalan varias bombas en paralelo, es aconsejable que cada bomba tenga sus propias tuberías de aspiración e impulsión con sus correspondientes amortiguadores, independientes de las demás.

Las bombas de desplazamiento positivo se utilizan en plantas de pequeño tamaño que requieran trabajar con elevadas presiones, como es el caso de la desalación del agua del mar, ya que es difícil encontrar otro tipo de bombas que reúnan las dos condiciones exigidas: que bombeen un reducido caudal a una presión elevada.

También se utilizan en plantas medianas (hasta 130 m<sup>3</sup>/h) cuando se precisan altos rendimientos energéticos en la impulsión de la solución a tratar, y por tanto, bajos consumos específicos de energía. Como contrapartida al buen rendimiento hidráulico, este tipo de bombas exige un costo mantenimiento.

#### b) Centrífugas

Una bomba centrífuga en su concepción más simple consiste en un impulsor con alabes, llamado “rodete”, que gira en el interior de una carcasa accionado desde el exterior mediante un eje.

La energía de una fuente exterior aplicada al eje hace girar el impulsor dentro de la carcasa estacionaria. Los alabes (cada una de las paletas curvas de la turbina que reciben el impulso del fluido) del impulsor en rotación producen un descenso de la presión en la entrada de los mismos, lo que origina que el fluido se mueva hacia ellos desde la tubería de aspiración. El fluido, debido a la rotación del impulsor, es enviado hacia el exterior de los alabes aumentando su velocidad tangencial.

La velocidad adquirida por el fluido cuando abandona los alabes se transforma en presión cuando pasa al difusor saliendo al exterior a través de la tubuladora de descarga.

Los impulsos pueden ser cerrados o semiabiertos. Los abiertos y semiabiertos se utilizan para impulsar líquidos cargados o viscosos.

Las bombas de las plantas de ósmosis inversa incorporan rodets cerrados cuyo rendimiento es mayor que el de los abiertos y semiabiertos.

En las plantas de ósmosis inversa pueden utilizarse los cuatro tipos de bombas centrífugas siguientes: de segmentos, de cámara partida, con tubo Pitot y de alta velocidad.

Las bombas de segmentos se utilizan tanto en las plantas pequeñas como en las de gran tamaño, si bien, con caudales inferiores a 25 m<sup>3</sup>/h y presiones superiores a 50 bar, su rendimiento descrece tanto que es más aconsejable utilizar bombas de desplazamiento positivo. Por encima de los 300 m<sup>3</sup>/h y presiones superiores a 50 bar, se puede obtener un rendimiento algo mejor con las bombas de cámara partida. Hay que estudiar entonces si el menor consumo de energía amortiza en un tiempo razonable la mayor inversión inicial requerida.

Para caudales superiores a los 500 m<sup>3</sup>/h y presiones por encima de los 50 bar suele ser más interesante utilizar bombas de cámara partida. Las bombas con tubo de Pitot solo se utilizan en plantas pequeñas, hasta 25 m<sup>3</sup>/h y 70 bar, cuando el costo de la energía eléctrica no es importante.

Las bombas de alta velocidad sólo se utilizan en situaciones especiales y sobre todo combinados con turbinas de recuperación de energía. Cada tipo de bomba considerado tiene ventajas e inconvenientes para su utilización en una planta de ósmosis inversa (ver Tabla 3).

<b>Tipo de bomba</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Inconvenientes</b>
<b>Desplazamiento positivo</b>	Alto nivel hidráulico (superior al 90%). Bajo consumo específico de energía. Se adaptan a la compactación y al ensuciamiento de las membranas, aumentando o reduciendo la presión de impulsión sin la intervención de ningún sistema de control.	Suministran un caudal y una presión “pulsados”. Requiere un cambio frecuente de empaquetaduras y émbolos. Pueden llegar a las membranas partículas procedentes de las empaquetaduras. Elevado costo de mantenimiento. Vibraciones y alto nivel sonoro.
<b>Segmentos</b>	Económicos	El rendimiento hidráulico rara vez supera el 80%. Es preciso desmontar las tuberías y toda la bomba para inspeccionar o cambiar un rodete. Riesgo de corrosión en las superficies de contacto entre segmentos.
<b>Cámara partida</b>	Buen rendimiento hidráulico (en el entorno del 80%). Bombas muy robustas. Fácilmente desmontables, sin desconectar las tuberías. Se accede con facilidad a todas las piezas internas. Fáciles de montar.	Costo de inversión elevado. Repuestos caros.

**Tabla 3.- Comparativa entre los diferentes tipos de bombas.** Fuente: Manuel Fariñas Iglesias. Ósmosis inversa. Fundamentos, tecnología y aplicaciones. McGrawHill. España, 1999.

#### 4. Sistema de recuperación de energía

La ósmosis inversa es un proceso en el que una parte importante de los costos de funcionamiento corresponden a la energía eléctrica consumida en el bombeo a alta presión. Con el fin de disminuir los costos de operación de la planta y por tanto el precio último del agua producto, se han incorporado una serie de mejoras tendentes a minimizar los consumos energéticos.



En la concepción más simple de una planta de ósmosis inversa la solución a tratar es aspirada por una bomba de alimentación que la impulsa hacia el pretratamiento donde se elimina todo aquello que puede ensuciar y deteriorar las membranas. A continuación es impulsada por una de las bombas de alta presión que la envía, a la presión necesaria, hacia las membranas de ósmosis inversa.

En el interior de los módulos, una parte del solvente (entre un 40 y un 90 % según el porcentaje de recuperación) atraviesa las membranas dando lugar al permeado que abandona los módulos a una presión comprendida entre 1 y 3 bar. El resto (entre un 60 y un 10 % del caudal inicial), junto con las sales y sustancias rechazadas por las membranas, abandona los módulos a una presión ligeramente inferior a la que tenía a la entrada a los mismos, dando lugar a la corriente de rechazo.

Para poder mantener la presión de trabajo en el interior de los módulos es necesario colocar una válvula de control que cree la pérdida de carga necesaria en el rechazo de la ósmosis inversa, laminándolo y disipando su energía en forma de calor.

Una concepción más avanzada de la planta incorpora un sistema que permite recuperar la energía que, en forma de presión, posee el rechazo a la salida de los módulos. Como ya se ha señalado, dado el entorno económico en que nos movemos, para que esta innovación pueda introducirse es preciso que el ahorro económico que comporte compense la mayor inversión a realizar.

Los sistemas utilizados en la actualidad para recuperar la energía del rechazo son: Turbinas Pelton, Turbinas de contrapresión, Conversores hidráulicos centrífugos, Conversores hidráulicos dinámicos. (Ver Tabla 4).

<b>Características</b>	<b>Turbina Pelton</b>	<b>Turbina de Contrapresión</b>	<b>Turbobomba integral</b>	<b>Convertidor Centrífugo</b>
Espacio necesario	Reducido	Importante	Medio	Muy reducido
Funcionamiento en seco	Posible	Imposible	Imposible	Imposible
Flexibilidad de funcionamiento	Amplia	Reducida	Reducida	Muy reducida
Rechazo que recibe	Todo	Parte	Parte	Todo
By pass de la turbina	No necesario	Necesario	Necesario	Necesario
Contrapresión	No tolera	Tolera/precisa	Tolera/precisa	Tolera/precisa
% Caudal nominal para recuperar energía	20	40	40	60
Rendimiento mecánico	75-90%	70-83%	65-78%	40-70%
Plantas en que se utiliza	Medias-grandes	Medias-grandes	Medias	Pequeñas-medias

**Tabla 4.- Comparativa entre los distintos sistemas de recuperación de energía.** Fuente: Manuel Fariñas Iglesias. Ósmosis inversa. Fundamentos, tecnología y aplicaciones. McGrawHill. España 1999.

## 5. Unidad de ósmosis inversa

Aunque dentro de una misma configuración de membranas, ya sea espiral, de fibra hueca, etc., existen módulos con diferentes tamaños y por tanto, con distintas producciones, el caudal de perneado necesario raramente coincide con el que puede suministrar un módulo concreto sino que suele ser bastante superior. Quiere esto decir que para alcanzar el caudal deseado es necesario agrupar varios módulos.

Adicionalmente, para asegurar una cierta velocidad del flujo a través de la superficie de las membranas, reduciendo así el fenómeno de polarización y los riesgos de precipitación y atascamiento es absolutamente imprescindible mantener un caudal mínimo de rechazo en cada módulo. Asimismo, para no aumentar excesivamente su pérdida de carga, lo que producirá deformaciones en su interior, es también necesario limitar el caudal máximo de rechazo.

Ambos límites en el caudal de rechazo dependen del tipo de módulo, de sus dimensiones, de las características de la membrana utilizada, etc. Estos valores a respetar limitan las conversiones máxima y mínima de cada módulo y, consecuentemente, tanto los porcentajes de recuperación de solvente como la concentración máxima de rechazo.

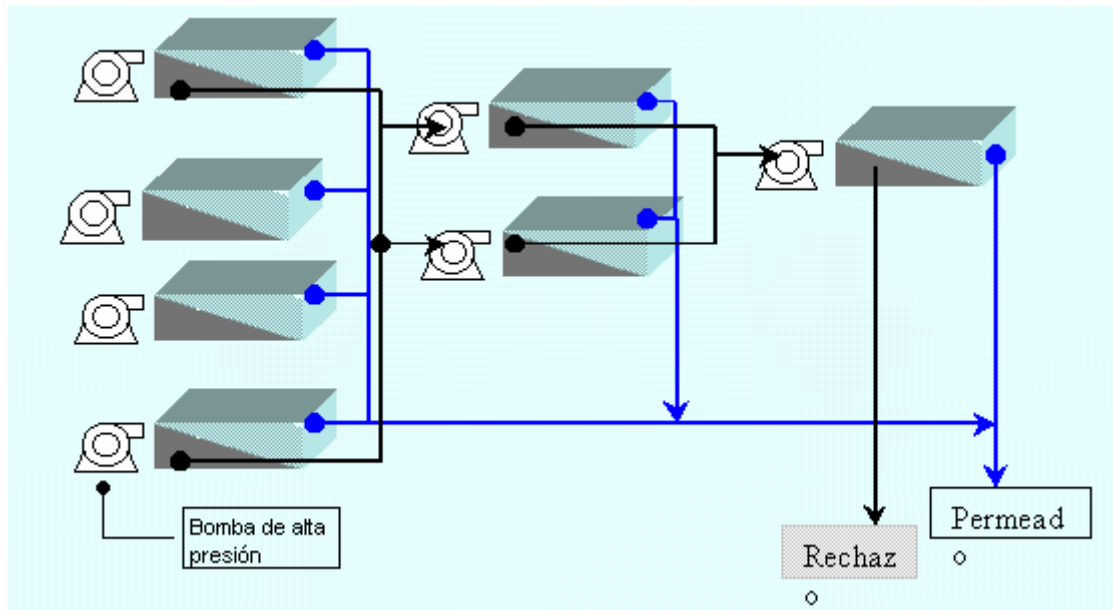
Si la conversión global con que se desea que trabaje el sistema supera la máxima admisible por cada módulo, es también necesario agruparlos de forma que se respeten sus condiciones límites de caudal de rechazo. Así pues, tanto el caudal como la conversión de funcionamiento de la unidad de producción obligan a agrupar los módulos de una determinada forma.

Los módulos de un sistema de ósmosis inversa pueden agruparse de dos formas: en paralelo y en serie.

a) En paralelo

En este tipo de montaje, las alimentaciones y las salidas tanto de permeado como de rechazo de cada módulo se conectan con cada una de las correspondientes tuberías generales. Esta agrupación se utiliza tanto con módulos de placas, como tubulares y de fibra hueca. No así los espirales.

Esta disposición se usa para producir un caudal “n” veces superior al suministrado por n módulo, siendo “n” el número de módulos instalados en paralelo. Como la máxima conversión de trabajo de cada módulo de este tipo es del orden del 40-50%, ésta será la conversión máxima que puede conseguirse con esta agrupación, lo que equivale a decir que la solución de aporte puede concentrarse ente 1,66 y 2 veces.



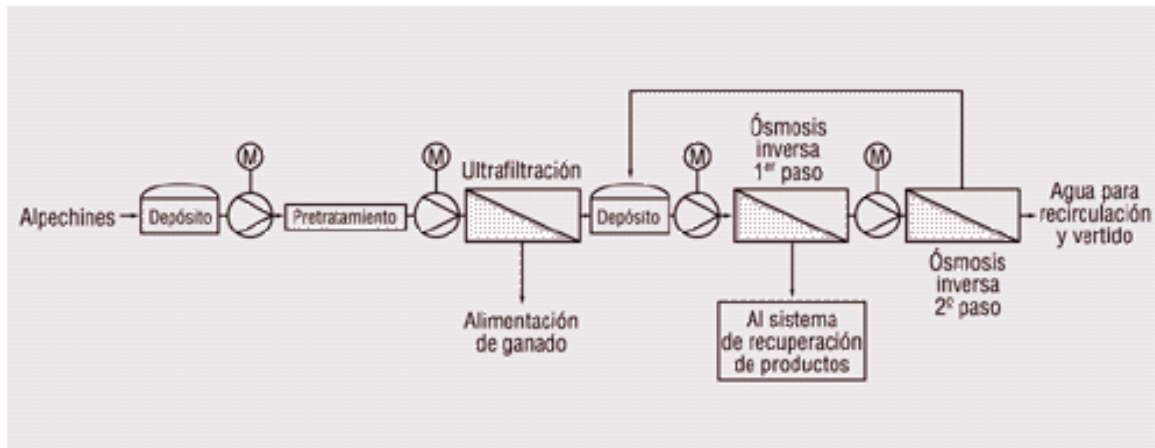
**Fig. 20.- Agrupación de los módulos en paralelo de ósmosis inversa.** Fuente: Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional, 2003.

b) En serie

Cuando los módulos se montan en serie, el caudal de rechazo de cada módulo pasa a ser el aporte del siguiente y así sucesivamente. El permeado de los distintos módulos se recoge en un colector común a todos ellos donde se van mezclando los distintos flujos.

Cuando se instalan módulos espirales en el interior de un tubo de presión se utiliza este tipo de agrupación. Los módulos espirales pueden trabajar con conversiones máxima del 7 al 10%, por lo que la conversión de cada tubo con 6 ó 7 módulos suele también oscilar entre el 40 y el 50%.

La agrupación de los módulos en serie hace que, para una conversión total determinada, cada módulo trabaja con una conversión menor que si trabajase en paralelo, lo que se traduce en un caudal de rechazo y, por tanto, una velocidad superficial sobre la membrana mayor. Esta agrupación se utiliza, consecuentemente, para reducir los fenómenos de polarización cuando los flujos de permeado de las membranas son altos o cuando se trabaja con elevadas conversiones.



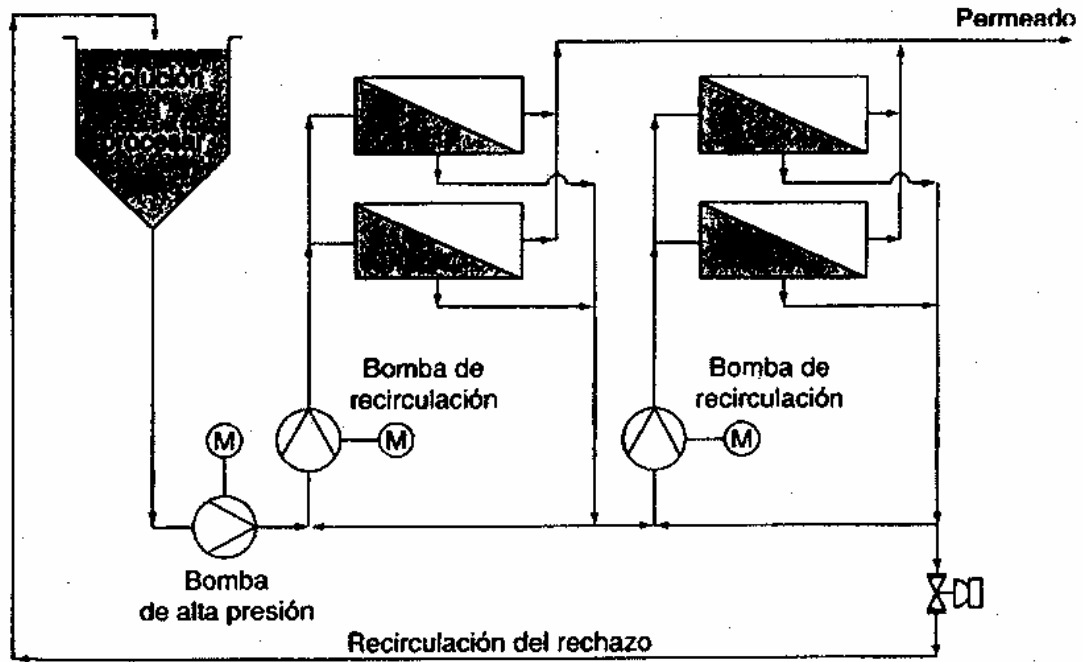
**Fig. 21.- Agrupación de los módulos en serie.** Fuente: Hipsagua, 2000.

Según el modo de trabajar con la unidad de ósmosis inversa, se pueden considerar dos tipos de funcionamiento: por lotes y continuo.

a) Funcionamiento por lotes

En este tipo de operación, toda la solución a tratar se encuentra disponible previamente en una cuba. Nada más comenzar el proceso, el permeado se evacua continuamente, pero el rechazo de la ósmosis inversa retorna al depósito recirculándolo de nuevo. El proceso termina cuando se alcanza la concentración deseada en la solución existente en la cuba.

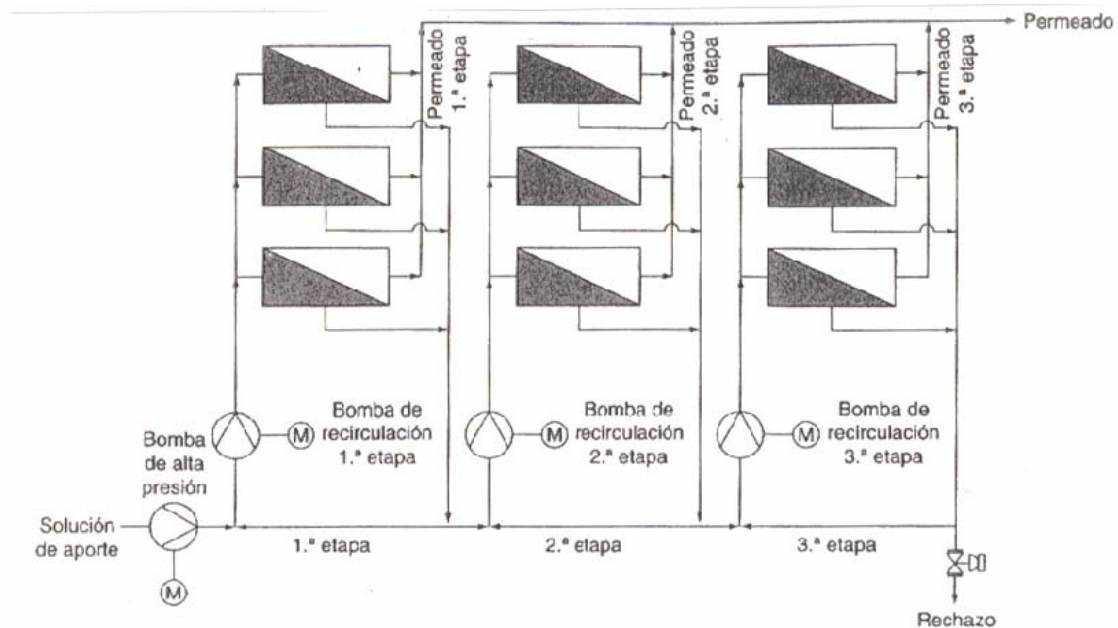
Esta técnica permite obtener altas concentraciones en el rechazo con superficies de membranas relativamente bajas. Se utiliza fundamentalmente para concentrar soluciones, como por ejemplo para eliminar el agua de un zumo de frutas. En este proceso, lo que se aprovecha en general es el rechazo y no el permeado, siendo necesario esperar un cierto tiempo para que esté disponible.



**Fig. 22.-** Esquema de funcionamiento por lotes. Fuente: Manuel Fariñas Iglesias. Ósmosis Inversa. Fundamentos, tecnología y aplicaciones, McGrawHill, España, 1999.

#### b) Funcionamiento continuo

En este tipo de operación, la solución de aporte bombeada hacia la ósmosis inversa es reemplazada inmediatamente por otra nueva, tal y como muestra la Fig. 23, no siendo imprescindible el de ósmosis para su almacenamiento previo. En este proceso también puede recircular parte del rechazo dependiendo del porcentaje de recuperación deseado y del número de etapas instaladas con el rechazo en serie. A diferencia de la técnica precedente, en la presente, tanto el permeado como todo o parte del rechazo se evacúan en continuo, disponiéndose de ambos inmediatamente. Este funcionamiento se utiliza en general cuando lo que se aprovecha es el permeado.



**Fig. 23.-** Esquema del funcionamiento en continuo. Fuente: Manuel Fariñas Iglesias. Ósmosis Inversa. Fundamentos, tecnología y aplicaciones. McGrawHill, España, 1999.

## 6. Limpieza de las membranas

Cuando la solución de alimentación contiene sustancias que pueden depositarse sobre las membranas o quedar atrapadas en el interior de los módulos por los sistemas y mallas distribuidoras, aumenta la polarización de las membranas y aunque los depósitos sobre las mismas retrasan la retrodifusión de las sales hacia la corriente principal. Los efectos de esta polarización son una disminución de la productividad y un aumento del paso de sales.

Las sustancias atrapadas originan también aumentos localizados de la pérdida de carga dando lugar a un reparto irregular de los flujos a través de las membranas, lo que motiva que porciones de éstas trabajen con conversiones elevadas mientras otras lo hagan con conversiones más bajas, incluso cuando la conversión global de módulo o del sistema se mantenga constante. Esta irregularidad en el reparto de los flujos acelera notablemente la concentración por polarización y el ensuciamiento en las zonas de membranas que trabajan con conversiones elevadas.

Cuando el rendimiento de la planta de ósmosis inversa desciende por debajo de unos determinados límites, es necesario limpiar las membranas para restaurar, si es posible, sus características primitivas de funcionamiento. La limpieza de las membranas no puede ser un procedimiento alternativo a un pretratamiento, pues al aumentar la frecuencia de las limpiezas de las membranas se aumenta su deterioro y se reduce consecuentemente su vida media. Es necesario analizar las causas de ensuciamiento prematuro de las membranas y someter la solución de aporte a los tratamientos preventivos adecuados.

Las fuentes potenciales de ensuciamiento de las membranas son: precipitaciones, depósitos, y excepcionalmente pueden presentarse ensuciamientos extraños, como por ejemplo azufre coloidal, compuestos orgánicos, aceites y grasas.

Cuando las membranas de una planta de ósmosis inversa se ensucian y sobre todo si dicho ensuciamiento tiene lugar en un corto período de tiempo, las posibilidades de recuperación dependen fundamentalmente de la rapidez con que se actúe una vez detectado el problema. Si las membranas se limpian nada más producirse su ensuciamiento su recuperación puede ser posible. Por el contrario, si una membrana sucia continúa trabajando, su deterioro puede ser irreversible, ya que se produce un atascamiento elevado que origina, a su vez, caminos preferenciales que impiden posteriormente que la solución de limpieza llegue a la suciedad o a los precipitados que hay que eliminar.

A modo de resumen, puede decirse como norma general, que es necesario realizar una limpieza de las membranas si ocurre cualquiera de las siguientes situaciones:

- ~ El paso de sales se incrementa respecto al valor precedente en más de un 15%.
- ~ La producción varía (aumenta o disminuye) en más de un 10%. El caudal de rechazo varía en más de un 10%.
- ~ La pérdida de carga de los módulos se incrementa en más de un 20%.
- ~ La presión de alimentación se incrementa en más de un 10%.
- ~ Ante largos periodos de parada (más de una semana).
- ~ Antes de aplicar cualquier reactivo de regeneración de las membranas.
- ~ Antes de una parada de más de 24 horas, tras haber operado con un producto orgánico que puede favorecer los desarrollos biológicos.



## 7. Postratamiento del agua producida

El agua desalada mediante membranas tiene un pH bajo (5,5), es pobre en calcio y de baja alcalinidad, debido al elevado rechazo de iones. Es por tanto un agua desequilibrada. Su baja alcalinidad y la presencia de  $\text{CO}_2$ , la hacen corrosiva, pudiendo disolver los precipitados de las tuberías e incluso incumplir algunos aspectos de la normativa Técnico Sanitaria.

Para estabilizarla hay que llevar estos parámetros a su equilibrio de saturación de  $\text{CaCO}_3$ . También en ocasiones contiene  $\text{SH}_2$ , especialmente cuando se tratan aguas subterráneas. La estabilización se consigue por tres procedimientos: descarbonatación o desgasificación, adición de productos químicos y mezcla con otras aguas.

Como el agua que se va a desalar, ha sido desprovista de sus características oxidantes mediante la dosificación de bisulfito sódico, en el producto no existen rastros de cloro residual.

Como antes de su uso final suele almacenarse en algún depósito, existen riesgos de que vuelva a contaminarse de nuevo.

Por ello si el agua se va a dedicar a abastecimientos urbanos es necesario volverla a clorar para cumplir la normativa sanitaria en cuanto a presencia de cloro residual de la red.

Algunas de las recomendaciones más importantes para el postratamiento del agua osmotizada son:

~ El postratamiento debe aportar calcio para reducir el alto índice de peligrosidad de sodio.

~ El postratamiento debe también aumentar el contenido en calcio y la alcalinidad para reducir la corrosión.

~ El postratamiento más recomendado es la dosificación de carbonato cálcico.

~ La remineralización con carbonato cálcico debe hacerse preferiblemente a la salida de los bastidores para aprovechar el CO<sub>2</sub> libre del agua recién osmotizada.

~ La excesiva dosificación de carbonato cálcico puede producir su precipitación e incrustaciones en los goteros.

~ La dosificación sólo con hidróxido cálcico es menos eficaz y produce rápidamente la sobresaturación y la precipitación en forma de carbonato cálcico.

#### 4.3.2.2.3.- Tecnología de membrana

Las membranas pueden clasificarse en función de distintos parámetros, como muestra la Tabla 5.

Parámetros	Tipos
Estructura	Simétrica
	Asimétrica
Naturaleza	Integrales
	Compuestas por capa fina
Forma	Planas
	Tubulares
	Fibra hueca
Composición química	Orgánicas
	Inorgánicas
Carga superficial	Neutras
	Catiónicas
	Aniónicas
Morfología de la superficie	Lisas
	Rugosas
Presión de trabajo	Muy baja
	Baja
	Media
	Alta
Técnica de fabricación	Inversión de fase (de máquina)
	Poli condensación entre fases (de máquina)
	Polimeración Plasma (de máquina)
	Dinámica

**Tabla 5.- Clasificación de membranas.** Fuente: Manuel Fariñas Iglesias. Ósmosis Inversa. Fundamentos, tecnología, y aplicaciones. McGrawHill, Españ, 1999.

Atendiendo a la estructura que presentan en un corte transversal a la superficie en contacto con la solución a tratar, las membranas pueden ser:

Simétricas: Se llaman membranas “simétricas” u “homogéneas” a aquellas cuya sección transversal ofrece una estructura porosa uniforme a lo largo de todo su espesor, no existiendo zonas de mayor densidad en una o ambas caras de la membrana.

Fueron las primeras membranas utilizadas por C. E. Reid (C. E. Reid et. Al., Water and Ion Flow Through Imperfect Osmotic Membranes, res. Develop. Progr. Rept., nº 16, Office of Saline Water, U.S. Dept. Interior.) en los inicios del desarrollo de la ósmosis inversa. Las membranas simétricas presentan varios inconvenientes: elevada permeabilidad al solvente y bajo rechazo de sales. Actualmente se utilizan en otras técnicas pero no son aptas para la ósmosis inversa.

Asimétricas: Un corte transversal de una membrana de este tipo presenta en la cara en contacto con la solución de aporte, una capa extremadamente densa y delgada bajo la cual aparece un lecho poroso. Esta capa densa y delgada se denomina “capa activa” y es la barrera que permite el paso del solvente e impide el paso del soluto. El resto de la membrana constituye el soporte de la capa activa ofreciendo una resistencia mínima al paso del solvente. Las membranas asimétricas son las utilizadas industrialmente en proceso de la ósmosis inversa.

Industrialmente las membranas se colocan en una configuración determinada con el fin de que puedan soportar las diferentes presiones de trabajo. Para obtener un caudal dado de agua producto con las características óptimas, es necesario colocar en paralelo varias unidades elementales de producción. A estas unidades elementales se les llama módulos y consiste en una agrupación de membranas con una configuración determinada.

Los objetivos que pretenden conseguir con cada configuración son:

- ~ Obtener el máximo rendimiento de las membranas.
- ~ Conseguir un sistema lo más compacto posible.
- ~ Minimizar los fenómenos de polarización de las membranas.

- ~ Facilitar la sustitución de las membranas deterioradas.
- ~ Mejorar la limpieza de las membranas sucias.

Existen varias configuraciones encaminadas a conseguir varios de estos objetivos:

a) Módulos de placas

Este tipo de configuración es el más antiguo. Está formado por un conjunto de membranas planas, recortadas generalmente en forma rectangular o de disco circular. Se apoyan sobre mallas de drenaje o placas porosas que les sirven de soporte. Las membranas se mantienen separadas entre sí por medio de espaciadores cuya anchura es del orden de los 2mm.

El módulo se obtiene apilando “paquetes” formados por espaciador-membrana-palca-porosa-membrana. El conjunto así formado se comprime mediante un sistema de espárragos de manera que pueda soportar la presión de trabajo. La estanqueidad se logra mediante juntas elásticas colocadas en los extremos.

La misión de los separadores o espaciadores es triple:

- Separar las capas activas de dos membranas consecutivas.
- Lograr un correcto reparto hidráulico de la solución a tratar sobre las membranas permitiendo el paso líquido entre ambas.
- Recoger de manera uniforme el rechazo impidiendo la formación de caminos preferenciales.

Así como las membranas son responsables de separar el permeado de la solución de aporte, las placas soporte, además de suministrar resistencia mecánica a la membrana, deben recoger el permeado de forma uniforme y evacuarlo al exterior.

#### b) Módulos tubulares

El nombre de esta configuración se debe a que los módulos se fabrican a partir de membranas tubulares y tubos perforados o porosos que les sirven de soporte, pudiendo así resistir el gradiente de presiones con que deben trabajar.

Como esta configuración suele utilizarse para el tratamiento de líquidos cargados (aguas residuales, zumos, etc.), se colocan, a veces, en el interior de los tubos, dispositivos especiales destinados a producir altas turbulencias que aseguren elevadas velocidades de circulación sobre la superficie de las membranas e impidan la deposición sobre ellas de las distintas sustancias en suspensión existentes en el líquido a tratar.

#### c) Módulos espirales

Esta configuración se llama así porque está formada por membranas planas enrolladas en espiral alrededor de un tubo central.

Cada “paquete” consta de una lámina rectangular de membrana semipermeable doblada por la mitad de forma que la capa activa quede en su exterior. Entre las dos mitades se coloca un tejido provisto de diminutos canales para recoger el permeado que atraviese la membrana y conducirlo hacia el tubo central de recogida.

Encima de la capa activa de la membrana se coloca una malla provista de canales de distribución para repartir homogéneamente la solución de aporte sobre toda la superficie de la membrana.

Para conseguir la estanqueidad de aporte y permeado se colocan, en los laterales de la lámina de ósmosis inversa, cordones de cola entre el tejido colector de permeado y las membranas, de forma que el sellante penetre totalmente en los tejidos.

Los laterales del tejido colector del permeado se encolan igualmente al tubo central que es el material plástico y va provisto de orificios.

El paquete así formado se enrolla alrededor del tubo central dando lugar a un cilindro al que se colocan en sus extremos dos dispositivos plásticos para evitar su deformación, tras lo cual se recubre el conjunto con una capa de resina epoxi reforzada con fibra de vidrio para darle la rigidez y la resistencia mecánica necesarias.

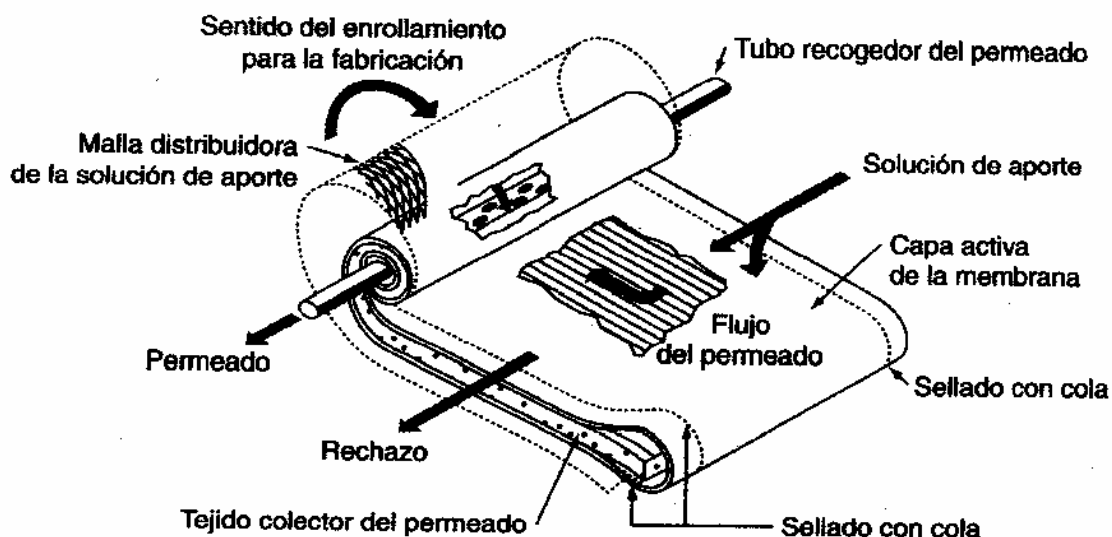


Fig. 24.- Desarrollo de membranas. Fuente: AEDyR, Ósmosis Inversa, 2007.

Si se utiliza un único “paquete de membranas para fabricar los módulos de gran diámetro, se requerirían hojas muy largas, lo que originaría problemas hidráulicos en la recogida del permeado y, por tanto, en el reparto de la solución a tratar. Por este motivo, los módulos suelen fabricarse enrollando varios “paquetes” de membranas como los descritos pero de longitud reducida. Un módulo de 8 suele llevar entre 16 y 18 paquetes.

La solución de aporte circula en dirección axial, paralela al tubo central, conducida por la malla distribuidora existente entre capas activas de dos membranas consecutivas. El permeado que atraviesa la membrana es recogido por el tejido colector, que lo lleva espiralmente al tubo central del que sale al exterior de sus extremos.

El rechazo o solución de aporte que no atraviesa la membrana continúa su avance en dirección axial, abandonando la malla distribuidora por el otro extremo.

Los módulos espirales se interconexionan en serie dentro de un tubo destinado a soportar la presión de trabajo. En el interior de cada tubo pueden instalarse hasta siete módulos, alcanzándose longitudes totales superiores a los siete metros.

La solución de aporte, a medida que va atravesando los distintos módulos instalados en serie, se va concentrando, siendo evacuada del tubo de presión por el extremo opuesto a su entrada. El permeado puede ser recogido en el mismo extremos que el rechazo o en el opuesto, según convenga.

#### d) Módulos de Fibra Hueca

Se llaman así porque se fabrican con varios centenares de miles de membranas de fibra hueca dobladas en forma de “U” y colocadas paralelamente a un tubo central. Las membranas se fijan en ambos extremos mediante resina epoxi para dar estabilidad al haz así formado.

La solución de aporte se introduce a presión en el tubo central quien la reparte radial y uniformemente a través de todo el haz de fibras.

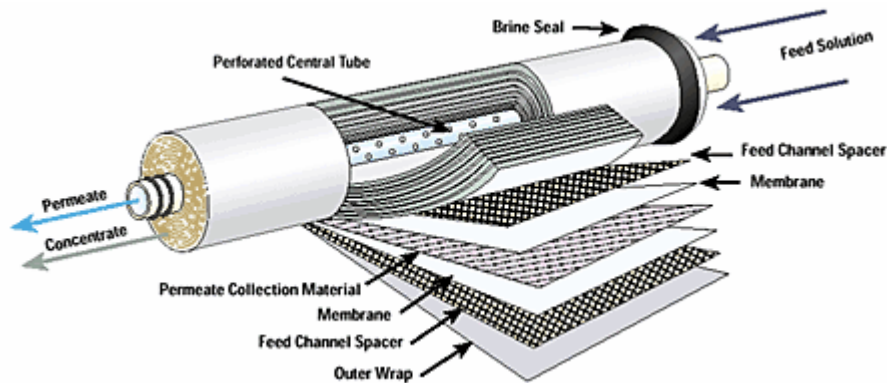
Cuando la solución a tratar entra en contacto con la superficie exterior de la fibra donde se encuentra la capa activa, una parte de la misma (el permeado) atraviesa la fibra moviéndose por su interior hueco hasta el extremo abierto.

Los finales abiertos de las fibras huecas están embebidos en una masa de resina epoxi, constituyendo uno de los extremos del haz. Esta masa, una vez mecanizada para abrir las fibras, se conoce con el nombre de “placa tubular”.

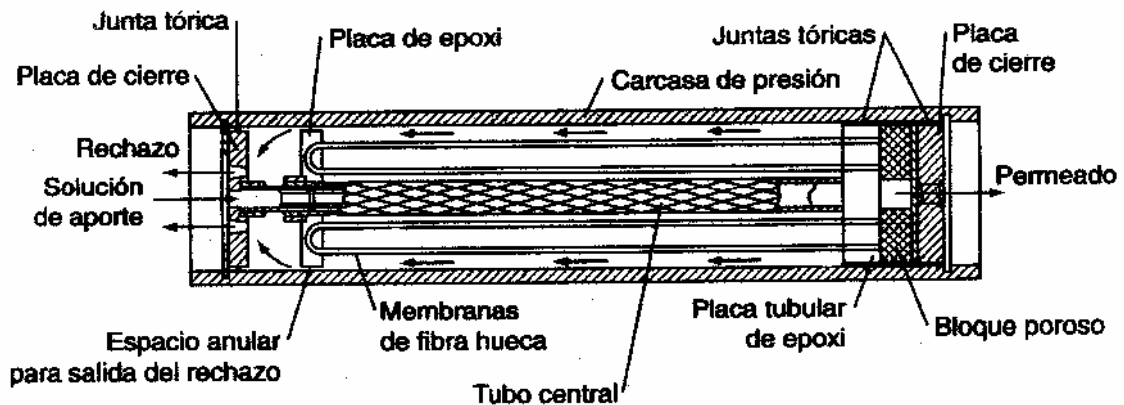
Cuando el permeado abandona el haz de la placa tubular, pasa a través de un bloque poroso antes de alcanzar el exterior del módulo. El bloque poroso tiene por misión lograr un correcto reparto hidráulico en la recogida de permeado y, por tanto, también en la distribución de la solución de aporte a través del haz de fibras.

El rechazo se mueve hacia la placa de epoxi situada en el otro extremo del haz de fibras, saliendo al exterior tras atravesar el espacio anular existente entre ésta y la carcasa exterior. Una junta tórica situada en la placa tubular impide que el permeado se mezcle con el rechazo.

El haz de fibras se instala en el interior de un tubo fabricado con epoxi y fibra de vidrio cuya misión es soportar, desde el punto de vista mecánico, las presiones de trabajo.



**Fig. 25.-** Esquema de un módulo de fibra hueca. Fuente: Plantas purificadoras, 2007.



**Fig. 26.-** Sección transversal de un módulo de fibra hueca. Fuente: Manuel Fariñas Iglesias. Ósmosis Inversa. Fundamentos, tecnología y aplicaciones. McGrawHill, España, 1999.

Este tipo de módulos, en el campo de la ósmosis inversa, sólo son fabricados por tres compañías:



- Du Pont (PERMASEP) (ya no fabrica)
- Toyobo (HOLLOSEP)
- Dow Chemical (DOWEX)

De las cuatro configuraciones presentadas, las más utilizadas en la ósmosis inversa son la espiral y la de fibra hueca.

Los módulos tubulares se comportan muy bien con líquidos cargados pero, por el contrario, como la superficie de membrana disponible por módulo es baja, se precisan muchos módulos y mucho espacio. Esto se traduce en una inversión costosa y un bajo mantenimiento al no ensuciarse. Los módulos de fibra hueca, sin embargo, son muy compactos ya que la superficie de membrana por unidad de volumen que presentan es elevada. Esa gran compacidad, que desde el punto de vista de la inversión es ventajosa, hace que sean más sensibles que otras configuraciones al ensuciamiento, tanto por sustancias coloidales como por sustancias en suspensión. Esta circunstancia recomienda su uso sólo en aplicaciones con líquidos muy limpios ya que en caso contrario, aunque la inversión fuese reducida, los costos de operación y mantenimiento serían elevados por las frecuentes limpiezas y deterioros de los módulos.

Todas las configuraciones, utilizando membranas con la misma química y la misma estructura, permiten obtener valores similares en el permeado. Pero ése no es el problema. Además de la química de la membrana, es preciso seleccionar la configuración o tipo de módulo a utilizar de forma que el costo total del producto que se obtenga con el proceso, entendiendo como tal la inversión inicial más los costos de operación y mantenimiento, sea mínimo.

Una característica de gran importancia a la hora de inclinarse por una u otra configuración, cuando ambas presentan análogos resultados económicos, es su sustitución e intercambiabilidad. Una vez construida una planta de ósmosis inversa se puede suceder que circunstancias no previstas inicialmente desaconsejen utilizar las membranas con la química seleccionada o bien que, con el tiempo, una determinada firma saque al mercado una membrana de mejores características (menos presión de trabajo, mayor rechazo de sales, mayor resistencia química, etc.). Si los módulos

instalados pudiesen ser sustituidos por los de nueva aparición sin tener que cambiar los tubos de presión, las tuberías, soportes, válvulas etc., diríamos que serían intercambiables, lo que, llegado el caso, supondría un ahorro considerable.

Adicionalmente, a la hora de reemplazar los módulos que se han ido deteriorando en una planta, puede obtenerse un mejor precio si, debido a su equivalencia en intercambiabilidad, se ponen varias firmas en competencia para hacerse con la sustitución.

#### **4.3.2.2.4.- Comparación de la Electrodialisis (ED) y la Ósmosis Inversa (OI)**

La diferencia básica entre ambos procesos de membranas es que en la electrodialisis los iones son transferidos a través de membranas semipermeables como consecuencia de la aplicación de un voltaje de corriente continua, mientras que la ósmosis inversa es un proceso de hiperfiltración donde el agua de alimentación se concentra en sales al paso por el sistema siendo el producto el resultado de la hiperfiltración. Esto supone que las necesidades de pretratamiento son muy diferentes para ambas técnicas de desalinización.

Así, las diferencias entre ambos sistemas se pueden resumir:

- En OI el agua atraviesa la membrana y el flujo principal que sale de la membrana es la salmuera. En ED son las sales las que atraviesan las membranas entregando como producto el agua desalinizada.
- La ED sólo elimina partículas cargadas eléctricamente, mientras que la OI elimina tanto las cargadas como las no cargadas.
- En OI la salmuera no suele recircularse; en ED, sí.
- La recuperación de agua en ED es siempre mayor que en OI, debido a la capacidad de la ED de operar con salmueras sobresaturadas.

- Los valores normales en ED están comprendidos entre el 80 y el 90% siendo el 85% el valor más común.
- La anchura del canal de paso es menor en OI que en ED, lo que hace a la OI más sensible al ensuciamiento.
- En OI un aumento de la temperatura empeora el corte de sales; en ED, lo mejora.
- En OI el caudal de producto puede ser variable en función del ensuciamiento y edad de las membranas; en ED el caudal es fijo.
- A medida que ponemos más etapas en serie (más membranas), la calidad del producto general empeora en OI y mejora en ED. Lógicamente, esto implica un mayor costo de inversión.
- A medida que ponemos más etapas en serie, el caudal de producto general aumenta en OI y permanece fijo en ED.
- En OI el agua de alimentación tiene que estar exenta de oxidantes, como el cloro (excepto en el caso de las membranas de acetato de celulosa, cada vez en menor uso), mientras que la ED admite cloro en continuo con niveles de cloro libre de 0,3 ppm y choques de limpieza en caso de contaminación orgánica de muchas decenas de ppm de cloro libre.
- El agua de alimentación a la OI debe tener un SDI15 (índice de taponamiento) de 3 a 5, mientras que la ED puede trabajar con aguas mucho más sucias, incluso con SDI inmedibles.
- La recuperación de OI es siempre menor que la de la ED.
- Las membranas de OI no se pueden desmontar y volver a montar; las de ED sí.

• La vida de las membranas de ED es generalmente mayor que las de OI. Dependiendo de la aplicación, la selección del sistema seguirá las siguientes pautas generales:

- a) Si el objetivo es agua ultrapura: OI.
- b) Si sólo se necesita ablandar: nanofiltración (NF).
- c) Si la salinidad es mayor de 3500 mg/l: OI.
- d) Si la recuperación de agua es importante, o si está limitada por  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{BaSO}_4$  ó Sílice: ED.
- e) Si la OI o la NF requieren un pretratamiento exhaustivo: ED.
- f) Si se necesita la eliminación de orgánicos: OI o NF.

#### **4.3.3.- Desalación por Congelación**

Este proceso consiste en congelar el agua y recoger los cristales de agua pura formados para fundirlos y obtener un agua dulce independientemente de la concentración del agua inicial.

Esta congelación puede hacerse bajo vacío, originándose una evaporación acompañada de enfriamiento que es la que origina la congelación, también puede lograrse la congelación con la ayuda de un agente refrigerante que tenga una tensión de vapor mayor a la del agua y a su vez no se mezcle con ella, como puede ser el butano, la expansión del butano producirá la congelación del agua.

Aunque pueda parecer un proceso muy sencillo tiene problemas de adaptación para su implantación a escala industrial, ya que el aislamiento térmico para mantener el frío y los mecanismos para la separación de los cristales de hielo deben mejorarse para que este proceso sea algún día competitivo, así como adaptar la tecnología a intercambiadores de frío.

El proceso de congelación es un fenómeno natural que se contempla con mucha facilidad en nuestro Planeta, alrededor del 70% del agua dulce está contenida en los polos terrestres. La utilización de hielo de los polos para el consumo humano es muy poco conveniente para la conservación del equilibrio térmico del Planeta.

#### **4.3.3.1.- Formación de Hidratos**

Es otro método basado en el principio de la cristalización, que consiste en obtener, mediante la adición de hidrocarburos a la solución salina, unos hidratos complejos en forma cristalina, con una relación molécula de hidrocarburo/molécula de agua del orden de 1/18 (Torres, 1999).

Al igual que el anterior proceso, su rendimiento energético es mayor que los de destilación, pero conlleva una gran dificultad tecnológica a resolver en cuanto a la separación y el lavado de los cristales que impiden su aplicación industrial.

#### **4.3.4.- Proceso de Intercambio iónico con resinas**

Las resinas de intercambio iónico son sustancias insolubles, que cuentan con la propiedad de que intercambian iones con la sal disuelta si se ponen en contacto. Hay dos tipos de resinas: aniónicas que sustituyen aniones del agua por iones OH- (Hydroxil, permutación básica), y resinas catiónicas que sustituyen cationes por iones H+ (Hidrógeno, permutación ácida).

Un ión es un átomo o grupo de átomos con una carga eléctrica, los iones con carga positiva se llaman cationes y son generalmente metales, los iones con carga negativa se llaman aniones y son generalmente no metales).

La desmineralización por intercambio iónico proporciona agua de gran calidad si la concentración de sal es menor de 1 gr/l. Por lo tanto se utiliza para acondicionar agua para calderas a partir de vapores recogidos o acuíferos, o en procesos industriales con tratamiento de afino. Las resinas normalmente necesitan regeneración con agentes químicos para sustituir los iones originales y los fijados en la resina, y terminan por

agotarse. Su cambio implica un coste difícilmente asumible para aguas de mar y aguas salobres. Este proceso tiene una implantación industrial muy profunda en las plantas de tratamiento de aguas para el ciclo de vapor de centrales térmicas: por ejemplo, la Central Térmica, con una potencia de 1.050 MW tiene resinas en su planta de tratamiento de aguas.

Este proceso teóricamente puede eliminar el 100% de las sales, pero no elimina los compuestos orgánicos, virus o bacterias excepto a través del atrapado “accidental” en la resina y las resinas aniónicas de base fuerte de fabricación especial que eliminan las bacterias.

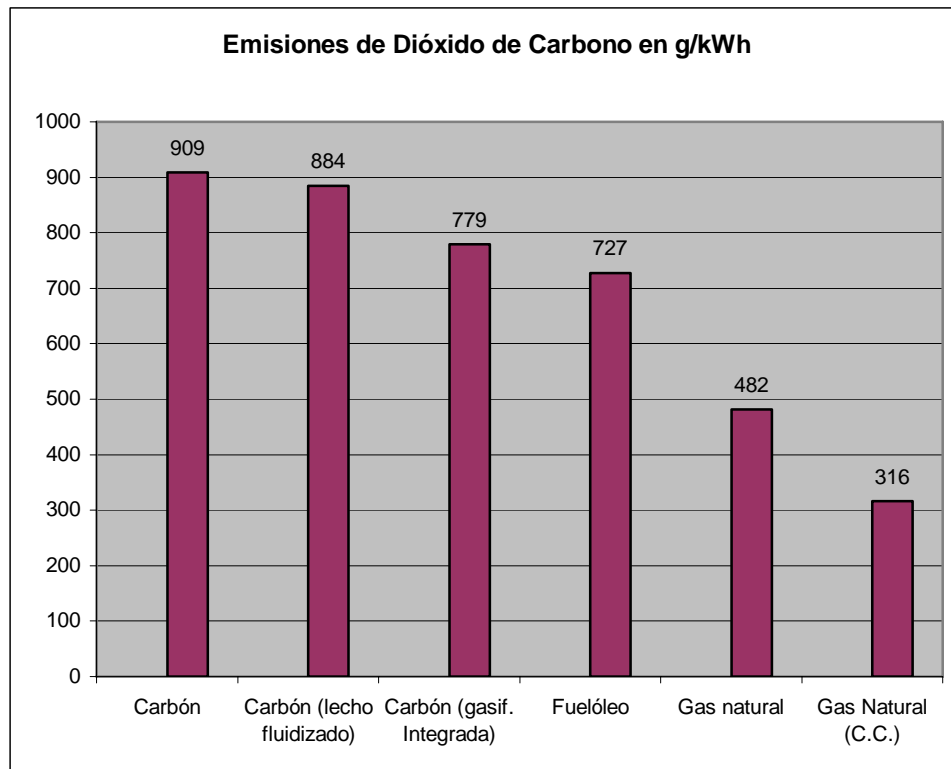
#### **4.3.5.- Nuevas tecnologías**

Actualmente son muchos los proyectos e investigaciones que se llevan a cabo para una mejora de los sistemas de desalación. Principalmente para un menor coste energético, sobre todo utilizando fuentes de energía más sostenibles y económicas. También se investiga para paliar el impacto ambiental, social, económico e institucional.

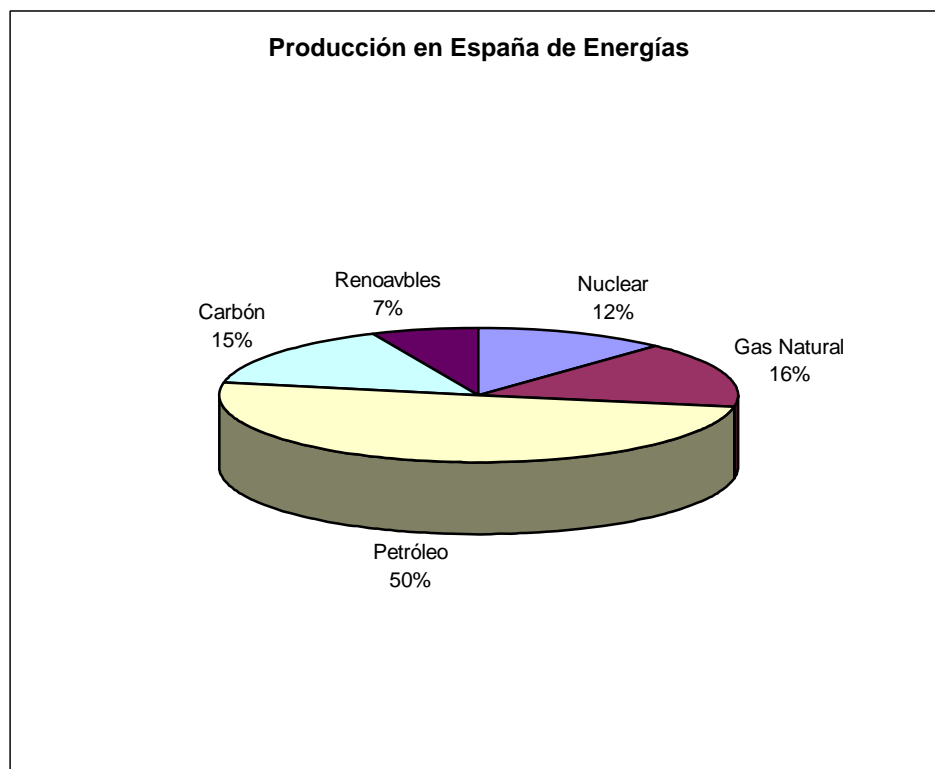
A continuación se enumeran algunos de los nuevos proyectos y estudios que se están realizando en España.

##### **4.3.5.1.- Uso energético en las desaladoras**

Si la desaladora se abastece de energía eléctrica generada a partir de la quema de combustibles fósiles, carbón y petróleo en las centrales térmicas, se emitirán gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono, y otros gases como el dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, responsables de la lluvia ácida. Todo ello hace investigar cada vez más para construir desaladoras que consuman electricidad generada mediante sistemas de energías renovables, como la energía solar, eólica, mareomotriz, hidráulica, geotérmica o biomasa.

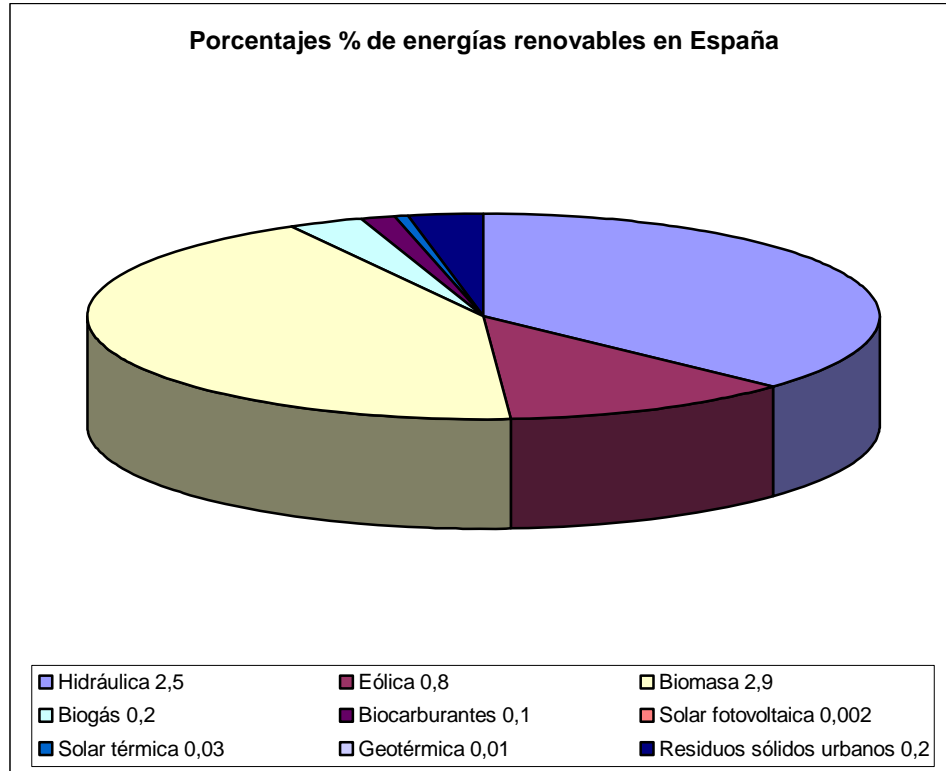


**Gráfica 5.-** Emisiones de  $CO_2$  en g/kWh. Elaboración propia. Fuente: “Costes y medioambientales de la desalación de agua de mar” Dr. Manuel Latorre, 2004.



**Gráfica 6.-** Producción en España de Energías. Elaboración propia. Fuente: Ministerio de Economía (Dirección General de Política Energética y Minas), 2007.

Dentro del porcentaje de energías renovables visto en la gráfica anterior (7%), se clasifican en las siguientes.



**Gráfica 7.- Energías renovables en España.** Elaboración propia. Fuente: Ministerio de Economía (Dirección General de Política Energética y Minas), 2007.

#### **4.3.5.2.- Desaladoras Marinas flotantes alimentadas por energía eólica.**

El Ministerio de Medio Ambiente seleccionó (2005) un proyecto del grupo empresarial M. Torres para construir plataformas desaladoras flotantes en alta mar impulsadas por energía eólica. El desarrollo de este prototipo, en el que se tenía previsto invertir 12 millones de euros.

Como dato curioso, el proyecto del grupo navarro M. Torres fue el único aprobado por Medio Ambiente sobre los 50 presentados.

La idea destacaba por el alto rendimiento energético y la nula emisión contaminante de las plataformas.



La desalación de agua marina en alta mar permitirá que la salmuera residual se vierta lejos de la posidonia marina y quede totalmente diluida minimizando el posible impacto ambiental.

Se trata de construir plataformas flotantes fondeadas que pueden ser instaladas a distancias de entre cuatro a cinco kilómetros de la costa y en aguas de entre 40 a 80 metros de profundidad máxima.

En las plataformas, cuyo conjunto pesará unas doscientas toneladas, se albergarán equipos de desalación de agua marina por ósmosis inversa sobre los que irán ubicados aerogeneradores eólicos de una potencia de 2,5 megavatios capaces de producir anualmente 2,5 hectómetros cúbicos de agua en el Mediterráneo y hasta 4,5 en las aguas atlánticas de Canarias, donde la intensidad y frecuencia de los vientos es mucho mayor. Una producción de 2,5 hectómetros cúbicos anuales es suficiente para abastecer a una población de 30.000 habitantes.

Las plataformas tendrán un diámetro de 40 metros, las torres, de 60 y las aspas del molino, una longitud de 40 metros.

La estructura de las plataformas se sustentará en tres flotadores arriostrados entre sí y dispondrá de timones de orientación. El concepto del conjunto de los flotadores será el de rueda de bicicleta con tres toros unidos y radios que llegan a un tubo central donde se empotra la torre del aerogenerador. La plataforma estará compuesta por materiales de poliéster reforzado con fibra de vidrio y acero inoxidable en las zonas metálicas. Sobre ellas se anclarán las torres, las cabinas auxiliares y los equipos hidráulicos de desalación. Cada plataforma estará lastrada en el fondo marino en un punto fijo que asegurará el apoyo del conjunto. Los desplazamientos verticales de la plataforma serán absorbidos por un brazo telescópico en cuyo interior va alojado el conducto de evacuación del agua desalada y que compensará los efectos de las mareas y el oleaje. Una rótula alojada en la parte superior de la cimentación permitirá, a su vez, la orientación de la turbina eólica y la plataforma con la dirección del viento y el cabeceo del conjunto. Desde el núcleo central de la cimentación saldrá, por medio de un emisario submarino, el agua desalada que será bombeada a tierra.

#### **4.3.5.3.- Desaladoras por presión natural. Vázquez Figueroa**

El escritor Vázquez – Figueroa (nació en 1936 en Santa Cruz de Tenerife). Plantea un nuevo procedimiento para desalar el agua del mar.

El procedimiento consiste, según explicó Figueroa (en el artículo: jueves 7 de Julio de 2005, El Mundo), en "llevar agua de mar hasta una montaña de unos 500 o 600 metros, para lo cual utilizamos energía eléctrica, pero residual, y la depositamos en una balsa". Y añadió, "a las pocas horas, cuando la red necesita otra vez mucha energía, dejamos caer esa misma agua por una tubería de la misma altitud que la montaña, lo que equivale a 5 o 6 atmósferas de presión. Esta presión hace que, de forma natural, el 45% del agua se convierta en agua dulce y la restante, el 55 %, salga doblemente salada a casi la misma presión con la que entró. Con esto, producimos electricidad y el agua sale gratis".

Una empresa israelí ya ha comprado la patente para construir la primera desaladora por presión natural en Murcia. Vázquez ha explicado cómo su proyecto no es un invento, sino una cuestión de aplicar "sentido común", que aprendió en su época de buceador.

#### **4.3.5.4.- Desalación nuclear**

Este proceso de desalación, lo que pretende mejorar son los aspectos siguientes:

- Mejorar el abasto y distribución de agua potable para el consumo humano, agrícola, industrial y de servicios.
- Satisfacer la demanda de energía eléctrica.
- Disminuir la contaminación que se emite al generar energía eléctrica mediante la combustión de hidrocarburos.

La desalación nuclear se diferencia de la convencional porque la fuente de energía se encuentra en un reactor nuclear, mientras que en una central térmica clásica el calor

de la caldera se genera al quemar un combustible fósil. En una central nuclear el calor proviene de la fisión de los núcleos de uranio dentro de un reactor.

Se han empleado combustibles fósiles (petróleo, carbón, lignito o gas natural) como fuente de energía primaria para el proceso de desalación. Sin embargo, el impacto medioambiental que provoca su utilización es severo y las emisiones gaseosas contribuyen al efecto invernadero, a la lluvia ácida y al impacto térmico sobre los cauces. Además, los residuos sólidos resultantes contribuyen a la contaminación del suelo. Ante la evidencia del deterioro del medio ambiente, es necesario examinar la utilización de otras fuentes de energía menos contaminantes, como son: la hidráulica; la mareomotriz; la biomasa; la geotérmica; la eólica; la solar y la nuclear. El análisis de distintas fuentes de energía permite afirmar que entre las comparadas las que producen menor impacto ambiental son: las plantas hidroeléctricas pequeñas, y el uso de la energía nuclear.

La desalación por medios nucleares ofrece una solución económicamente viable, principalmente en regiones donde se tienen necesidades de agua potable para el consumo urbano y agrícola en gran escala y que por situaciones locales, esta demanda sólo es posible satisfacerla desalando agua.

La gran ventaja de la desalación nuclear es que la producción de agua potable se realiza en forma cogenerada con la producción de energía eléctrica. Esto permite optimizar la utilización de la energía de la planta. La cogeneración también hace posible contar con cierta flexibilidad para decidir qué cantidad de energía se dedicará para producir electricidad y qué cantidad para la producción de agua potable, ajustándose a las necesidades de demanda que se presenten.

#### **4.3.5.5.- Desaladora con energía eólica, solar e hidráulica**

El equipo estable de Investigación y Desarrollo (ID+D) Ingemar de la Facultad de Náutica de la Universidad de la Laguna (ULL, Islas Canarias), ha diseñado un proyecto integral de una desaladora que realiza su función por ósmosis inversa usando energía eólica, solar e hidráulica. El prototipo se diseña para Arico (municipio Canario) y además puede reutilizar las sales para la industria farmacéutica.

Este prototipo adaptado al Ayuntamiento de Arico en Tenerife (muy castigado ecológicamente y con graves problemas de abastecimiento de agua) podría abastecer de agua potable y riego agrícola.

Con este proyecto se puede obtener 7.500 m<sup>3</sup> de agua desalada cada día, de los que 2.500 se destinarían a consumo urbano en los núcleos urbano-costero y 5.000 al uso agrícola. Estos consumos están calculados para la demanda posible en el municipio para el año 2.015.

El coste de instalación será de unos 19 millones de euros de lo que corresponden 4 a la desalación y 6 al parque. Según el estudio de viabilidad realizado por Ingemar, la amortización, si se llega a poner en marcha, se consigue en sólo 9 años y la instalación tiene una vida útil de 20 años.

Todo ello permite el ahorro y la compensación de energía consumida en el proceso de desalación, permite la venta de energía eléctrica a la red amortizando y minimizando los costes del agua salda. Además, el modelo permite el almacenamiento por separado del agua para consumo humano y para la agricultura de forma que se puede adaptar el agua de uso agrícola a los tipos de cultivo y aportarle los nutrientes a cada fruta y verdura que necesite.

El funcionamiento de estas plantas no altera el medio marino debido a los pozos de extracción de agua salada, ni tampoco la contaminación al utilizar pozos de vertido de salmuera resultante pues han diseñado un sistema para recuperar estos materiales y destinarlos a la industria farmacéutica o a la alimenticia.

#### 4.4.- Conclusiones

Después de la exposición de los diferentes procesos de desalación actualmente existentes, tan sólo existen unos pocos procesos tecnológicamente viables actualmente a escala industrial: Evaporación súbita por efecto flash (MSF), destilación múltiple efecto (MED), termocompresión de vapor (TVC) y compresión de vapor mecánica (CV), ósmosis inversa (OI) y electrodialisis (ED). A modo de recopilación es conveniente realizar un análisis comparativo de las ventajas e inconvenientes de cada uno de estos métodos tecnológicamente avanzados para la producción de agua desalada. La Tabla 6 muestra la valoración de todos los métodos comentados anteriormente frente a ciertas características exigibles a un método desalador.

CARACTERÍSTICA	MSF	MED-TVC	CV	OI	ED
Tipo energía	térmica	térmica	eléctrica	eléctrica	eléctrica
Consumo energético primario (kJ/kg)	alto (>200)	alto/medio (150-200)	medio (100-150)	bajo (<80)	bajo
Coste instalaciones	alta	alto/medio	alto	medio	medio
Capacidad producción (m <sup>3</sup> /día)	alta (>50.000)	media (<20.000)	baja (<5.000)	alta (>50.000)	media (<30.000)
Posibilidad ampliación	difícil	difícil	difícil	fácil	fácil
Fiabilidad de operación	alta	media	baja	alta	alta
Desalación agua de mar	sí	sí	sí	sí	no
Calidad de agua desalada (ppm)	alta (<50)	alta (<50)	alta (<50)	media (300-500)	media (<300)
Superficie re	mucha	media	poca	poca	poca

**Tabla 6.-** Valoración de diferentes características deseables para los métodos de desalación existentes en el mercado. Fuente: CIRCE, Universidad de Zaragoza, 2001.

A la vista de esta tabla, queda claro que la ósmosis inversa es en conjunto la tecnología más favorable en España, en base a su mejor precio de obtención del agua, su ampliabilidad, y su fiabilidad. Tan sólo la calidad del agua es peor que el resto de tecnologías, si no se contempla la posibilidad de añadir un segundo paso para reducir esa concentración salina residual tras un único paso por las membranas.

## **5.- CALIDAD DE LAS AGUAS DESALADAS SEGÚN USOS**

## 5.- Calidad de las aguas según usos

### 5.1.- Calidad del agua bruta aportada

La calidad del agua producto requerida, así como la del agua bruta aportada al proceso de desalación es fundamental a la hora de elegir uno u otro proceso. Por ejemplo, podemos señalar que los procesos de destilación consumen la misma cantidad de energía independientemente de la salinidad del agua aportada, por lo que sólo son apropiadas para la desalación de aguas marinas. Y también que aguas especialmente puras para aplicaciones específicas industriales necesitan procesos específicos como el intercambio iónico o postratamientos si utilizamos inicialmente un proceso de ósmosis inversa.

Ciñéndonos a la cantidad de sólidos totales disueltos en el agua, la Tabla 7 muestra la denominación de esa agua en función de su salinidad (Rueda y otros, 2000).

Denominación del agua	Salinidad TDS (ppm) (sólidos disueltos totales)
Ultrapura	0.03
Pura (calderas)	0.3
Desionizada	3
Dulce (potable)	<1.000
Salobre	1.000-10.000
Salina	10.000-30.000
Marina	30.000-50.000
Salmuera	>50.000

**Tabla 7.-** Rangos de salinidad de los diferentes tipos de agua.  
Fuente: Fariñas, 1999; Medina, 2000.



En cuanto a la salinidad de los mares y océanos del Planeta, tampoco es ni mucho menos constante, tal y como se aprecia en la Tabla 8.

<b>Mar/Océano</b>	<b>Salinidad TDS (ppm)</b> (sólidos disueltos totales)
Mar Báltico	28.000
Mar del Norte	34.000
Océano Pacífico	33.600
Océano Atlántico Sur	35.000
Mar Mediterráneo	36.000
Mar Rojo	44.000
Golfo Pérsico	43.000-50.000
Mar Muerto	50.000-80.000
<b>MEDIA MUNDIAL</b>	<b>34.800</b>

**Tabla 8.- Salinidad media de los mares y océanos principales del planeta.**  
Fuente: Abu Qdais, 1999; Handbury, Hodgkiess y Morris, 1993; Medina, 2000.

El contenido salino de las aguas salobres depende fuertemente de la localización del acuífero de donde se extraiga esa agua. En este caso, la contribución de la sal común (NaCl) puede ser menor que otro tipo de constituyentes, provenientes de técnicas de fertilización generalmente. A la vista de estos datos, está claro que la salinidad (más fácilmente medible a través de su conductividad eléctrica CE (dS/m) o facilidad de una sustancia para conducir la corriente eléctrica. El agua pura no conduce la electricidad pero se va haciendo conductora con la adición de diversos constituyentes de naturaleza electrolítica), así como otros constituyentes químicos integrados en el agua (especialmente crítico cuando hablamos de aguas salobres o residuales, que pueden incluir componentes de difícil eliminación), y la temperatura de aporte influyen mucho a la hora de elegir el proceso desalador que pueda eliminarlos convenientemente. Por ejemplo, la dureza y temperatura de las aguas del Golfo Pérsico siempre han condicionado fuertemente el uso de membranas de ósmosis inversa hasta hace muy pocos años. El pretratamiento de esta agua bruta necesario para cada proceso desalador es a veces más costoso y complejo que el proceso desalador en sí, por lo que aunque un pretratamiento pueda suplir las deficiencias que plantea ese proceso su coste y

complejidad puede finalmente hacer inviable esa instalación. La tabla 9 resume el tipo de proceso básico a utilizar en función del tipo de agua de aporte especificada.

Proceso	Agua de mar	Agua salobre
MSF		
MED		
TVC		
CV		
OI		
ED		

**Tabla 9.-** Proceso desalador a aplicar en función del tipo de agua bruta. Fuente: Fariñas, 1999; Medina, 2000.

## 5.2.- Calidad requerida del agua

La calidad del agua requerida depende claramente de su uso. (Splieger y El Sayed, 1994). Así, para ciertos procesos industriales aguas de hasta 5.000 ppm pueden usarse pero en otros como centrales eléctricas el límite máximo es ínfimo. En la agricultura, algunos cultivos toleran hasta las 2.000 ppm, aunque ello depende de la tierra, clima, composición del agua salobre, método de riego y fertilizantes aplicados. En cuanto al consumo humano, su límite es de 1.000 ppm, aunque en climas excesivamente cálidos un aporte extra de sales (si son principalmente cloruro sódico) puede ser beneficioso para el cuerpo humano. Aunque el consumo humano es de sólo unos 2-3 litros para ingestión, la desalación no sería ningún problema para este uso, si hubiera otro sistema de abastecimiento de agua de peor calidad para otros servicios propios tales como lavado, riego de jardines, cocinado, etc. La normativa vigente española referida a la calidad de las aguas requeridas, el Real Decreto 1138/1990 de 14 de Septiembre adapta a la legislación española la Directiva Europea 80/778/CEE de 15 de Julio sobre la misma materia. En él se definen las características de un agua potable, con las concentraciones máximas que no pueden ser rebasadas y además fija unos niveles guía deseables para el agua potable. El decreto divide los parámetros en:

- Organolépticos.
- Físico-químicos.
- Sustancias no deseables.
- Sustancias tóxicas.
- Microbiológicos.
- Radiactividad

y menciona que las Comunidades Autónomas podrán fijar excepciones siempre que no entrañen un riesgo para la salud pública. El apartado específico por aguas blandas o desaladas se fija en tres parámetros:

- pH: debe estar equilibrado para que el agua no sea agresiva.
- Alcalinidad: debe tener al menos 30 mg/l de  $\text{HCO}_3$
- Dureza: debe tener al menor 60 mg/l de  $\text{Ca}^{++}$ , que implica un acondicionamiento químico del agua producto desalada.

Posteriormente, la Directiva Europea 98/83/CEE de 3 de Noviembre establece unos nuevos requisitos mínimos a cumplir a partir de dos años después de su edición. Incluye una serie de parámetros divididos en tres partes:

- Microbiológicos.
- Químicos.
- Indicadores (valores guía).

Finalmente, existe una propuesta del EUREAU (European union of national associations of career suppliers and waste water services), sobre el reglamento Técnico Sanitario para suprimir los niveles guía, revisar las concentraciones máximas admisibles del sodio, sulfatos y nitritos, basándose en estudios científico-sanitarios. También pide reconsiderar la inclusión de un nivel fijo para el calcio y el potasio, y una concentración máxima para los nitritos. La Tabla 10 recoge una comparativa de los parámetros más significativos del agua según las distintas normativas antes mencionadas y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

<b>Parámetro</b>	<b>80/778/CEE</b>	<b>98/83/CEE</b>	<b>OMS ( guía)</b>
Cloruros (máximo como ión) ppm	200	250	250
Sulfatos (máximo como ión) ppm	250	250	400
Nitratos (máximo como ión)	50		
Alcalinidad (máximo como mg/l de HCO <sub>3</sub> ) ppm	30	30	
Sodio (máximo como ión) ppm	175 (150)	200	200
Magnesio (máximo como ión) ppm	50	-	
Dureza total (min. como mg/l de Ca <sup>++</sup> ) ppm	60	-	200
TDS (ppm)	1500	1500	1000
PH	6,5 a 8,5	6,5 a 9,5	6,5 a 8,5
Otros		Agua no agresiva	

**Tabla 10.-** Comparativa de parámetros más significativos del agua según normas o estándares actuales. Fuente: Rueda, Zorrilla, Bernaola y Hervás. CIRCE universidad de Zaragoza, 2000.

### 5.3.- Calidad del agua obtenida con la desalación

Hay que considerar la calidad del agua obtenida con la desalación. La Tabla 11 muestra la calidad media del agua obtenida por los procesos de OI de un único y doble paso, y los procesos de evaporación.

	OI (único paso)	OI (doble paso)	Evaporación
Ca <sup>++</sup> (mg/l)	2	0.1	0.5
Mg <sup>++</sup> (mg/l)	6	0.3	1.5
Na <sup>+</sup> (mg/l)	128	15	12
K <sup>+</sup> (mg/l)	4	0.8	0.5
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	8	0.4	0.1
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg/l)	11	0.6	3.0
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	208	23	22
TDS (mg/l) (sólidos disueltos totales)	367	40	40
SiO <sub>2</sub> (mg/l)	0.1	0.0	0.0
CO <sub>2</sub> (mg/l)	23	12	-
pH	5.8	5.2	7.2

**Tabla 11.-** Calidad media de agua obtenida por diferentes procesos de desalación. Fuente: Rueda, Zorrilla, Bernaola y Hervás, CIRCE universidad de Zaragoza, 2000.

Por lo tanto, viendo la calidad obtenida con los procesos y los requerimientos legales, en el postratamiento de las aguas desaladas se tienen que considerar dos aspectos. El primero contemplará el equilibrio químico del agua con el fin de eliminar su alta agresividad y así proteger las redes de distribución, para ello es necesario reducir el alto contenido de CO<sub>2</sub> con la adición de cal -Ca (OH)<sub>2</sub>- para conseguir un agua ligeramente incrustante. El segundo aspecto se refiere al contenido de dureza del agua de abastecimiento, con el mínimo de 60 mg/l como se puede ver en la Tabla 11. La práctica más habitual es su mezcla con aguas superficiales con alto contenido de Ca y Mg, y en el caso de que esto no sea posible se dosifican sales cálcicas como CaCl<sub>2</sub> o CaSO<sub>4</sub>, aunque supongan un incremento de Cl<sup>-</sup> o SO<sub>4</sub><sup>=</sup> en el agua de abastecimiento. El coste del postratamiento es prácticamente despreciable frente a los de la desalación propiamente dicha.

#### **5.4.- Usos del agua envasada**

Es interesante estudiar la utilización del agua envasada y ver las diferentes clases que existen, ya que la calidad del agua producida por las plantas desaladoras puede llegar a un nivel de calidad tan aceptable como el agua envasada que se comercializa actualmente.

Enumeraremos a continuación las diferentes clases de agua envasadas:

- 1) Agua mineral envasada: Se entiende como agua de bebida envasada o agua potabilizada envasada a un agua de origen subterráneo o proveniente de un abastecimiento público, al agua que se comercialice envasada en contenedores y otros envases adecuados, que cumpla con las exigencias reglamentarias del código alimentario.
- 2) Agua mineral natural: Agua que se diferencia claramente del agua potable y que se caracteriza por su contenido en determinadas sales minerales y sus proporciones relativas, así como la presencia de elementos traza o de otros constituyentes útiles para el metabolismo humano, se obtiene directamente de fuentes naturales o perforadas de aguas subterráneas procedentes de estratos acuíferos. Su composición y la estabilidad de su flujo y temperatura son constantes, teniendo en cuenta los ciclos de las fluctuaciones naturales y se capta en condiciones que garantizan la pureza microbiológica original.
- 3) Agua mineral natural carbonatada naturalmente: Agua mineral natural que, después de un posible tratamiento de reposición de CO<sub>2</sub> libre y del envasado, contiene la misma cantidad de CO<sub>2</sub> original que al surgir de la fuente de agua mineral, teniendo en cuenta la tolerancia técnica normal.
- 4) Agua mineral natural no carbonatada: Agua mineral natural que por su naturaleza y después de un posible tratamiento y de su envasado, no

contiene CO<sub>2</sub> libre en una medida que no exceda la cantidad necesaria para mantener presente los iones HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> disueltos en agua.

- 5) Agua mineral natural descarbonatada y agua mineral natural reforzada con dióxido de carbono en la fuente: Agua mineral que, después de un posible tratamiento y de su envasado, no tiene el mismo contenido de CO<sub>2</sub> que surgir de la fuente.
- 6) Agua mineral natural carbonatada: Agua mineral natural que, después de un posible tratamiento y de su envasado, se ha hecho efervescente mediante la adición de CO<sub>2</sub> no procedente de la fuente.
- 7) Agua mineral medicinal: Agua que por su composición y características propias puede ser utilizada con fines terapéuticos, desde el área de emergencia hasta el lugar de utilización, dada sus propiedades curativas demostradas por analogía de similares tipos de aguas existentes, por experiencia local, por estudios correspondientes o mediante ensayos clínicos y evolución de procesos específicos o de experiencia médica comprobada, y conservar después de ser envasada sus efectos beneficiosos para la salud humana.
- 8) Agua de manantial: Agua que emerge espontáneamente a la superficie de la tierra con un caudal determinado por el ciclo hidrológico después de ser captada mediante labores practicadas para su explotación. No posee las propiedades del agua mineral.
- 9) Agua natural: Agua que a diferencia de la de manantial se capta mediante la perforación de pozo.

A continuación mostramos una tabla sobre la composición y calidad de las aguas minerales envasadas:

<b>Requisitos Organolépticos (sabor, color, olor, aroma ... )</b>	
<b>Indicador de calidad</b>	<b>Evaluación</b>
Olor	Característico, libre de olores extraños
Sabor	Característico, libre de sabores extraños
Calor	Incoloro
Aspecto	Límpido
<b>Límite de determinadas sustancias</b>	
<b>Sustancia</b>	Valor máximo permisible en mg/l (ppm)
Cobre	1
Magnesio	2
Cinc	5
Borato	30 (calculado como $H_3BO_3$ )
Materia orgánica	3 (calculada como $O_2$ )
Arsénico	0.05
Bario	1
Cadmio	0.01
Cromo	0.05 (calculado como Cr total)
Plomo	0.05
Mercurio	0.001
Selenio	0.01
Fluoruro	2 (calculado como $F^-$ )
Nitrato	45 (calculado como $NO_3^-$ )
Sulfuro	0.05 (calculado como $H_2S$ )

**Tabla 12.-** Composición de *agua mineral envasada*. Fuente: Juan Reynerio Facundo Castillo, Red de Salud de Cuba, 1996.



El consumo de agua envasada es un concepto que anda de la mano del nivel y calidad de vida de una sociedad. Cuanto más elevado sea este, mayor será el consumo. Este tipo de producto comienza a comercializarse a gran escala tras la Segunda Guerra Mundial, cuando la economía empieza a recuperarse, aunque su consumo es muy anterior, pero no con el carácter comercial actual, sino más bien terapéutico.

Al principio el agua envasada, sólo se vendía en farmacias, pero durante la década de los sesenta, este producto pasó a venderse en todo tipo de comercios de alimentación. Hoy en día se considera como un producto alimenticio más, aunque con ciertas propiedades terapéuticas.

El mercado español se encuentra actualmente inmerso en un proceso expansivo. Durante la última década se ha duplicado su producción. En el año 1.999 ésta alcanzó los 3.602 millones de litros de agua envasada, lo cual supuso un incremento del 11,5% respecto al año anterior. En el año 2.000, este sector ocupó el primer puesto en el incremento de facturación con respecto al año anterior dentro del grupo de bebidas envasadas.

Los países que más agua envasada consumen son Bélgica con 213 litros por habitante y año, Italia con 155 litros/habitante año y Alemania con 97. En España el consumo es menor, 78 litros por habitante y año. Los mayores exportadores de agua envasada son Francia con 1.512.000 m<sup>3</sup>/año, Italia con 645.000 m<sup>3</sup>/año, y Bélgica con 465.000 m<sup>3</sup>/año. España tan sólo exporta 63.000 m<sup>3</sup>/año, lo cual supone el 0,2% de la producción nacional, importando simultáneamente casi el doble (cifras del año 2000).

Centrándonos en España, el agua embotellada vive en los últimos años no de sus mejores momentos con incrementos anuales de hasta el 13% en la producción y un consumo medio por persona y año de 63,4 litros. Según datos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, el 68% del producto se consume en hogares y el 31% en restauración y hostelería.

Los habitantes que más agua envasada beben en España son los de Baleares, seguidos por los murcianos y catalanes; por el contrario, los consumos más bajos se registran en Navarra, País Vasco y sobre todo, Madrid.

El agua sin gas supone un 95,5% de la producción, frente a un 4,48 de agua con gas.

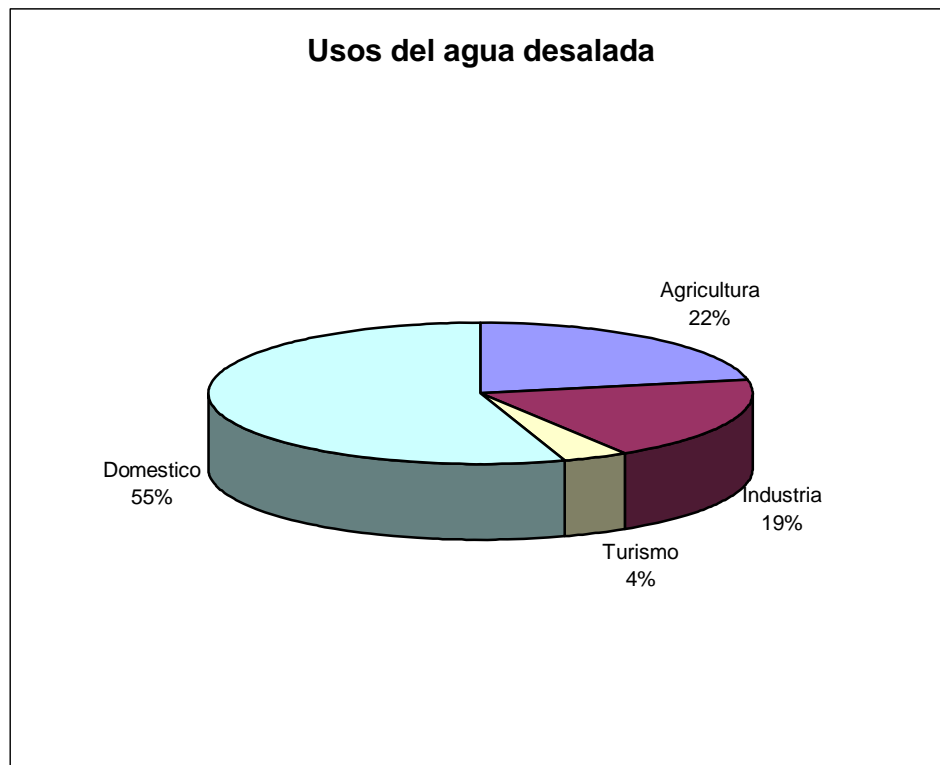
En cuanto a la presentación de las botellas, el 70,21% de la producción está envasada en botellas o en envases de no más de dos litros y el resto en garrafas. La mayoría son de plástico, el 80% se envasa en Polietileno Tereftalato (PET), el 10,1% en polietileno y el PVC (cloruro de vinilo) “prácticamente” ha desaparecido. Un 6,6% de la producción utiliza vidrio retornable y un 1,1% el vidrio no retornable, en tanto que el resto (1,5%) corresponde al cartón, al polipropileno y al policarbonato.

Es una realidad que el agua envasada nos cuesta 1000 veces más que la del grifo. La fabricación de sus diversos envases, sin tener en cuenta también el necesario tratamiento posterior, requiere un consumo de recursos en forma de materias primas, energía y agua. Por otra parte, tanto la fabricación y tratamiento final de los envases como su transporte desde la planta embotelladora a la estantería de nuestro supermercado genera emisiones a la atmósfera. En cambio, el agua del grifo, aunque debe sufrir un proceso de potabilización que utiliza energía y recursos, recorre una distancia mucho menor y prescinde de envases. Sin embargo, en muchas ocasiones su uso para bebida nos disgusta y dudamos de su calidad.

No nos centraremos en esta problemática, pero es interesante tener una visión general de las posibilidades que puede aportar en muchas regiones, el hecho de disponer de agua procedente de las plantas desaladoras para un suministro al sector doméstico, ya que el agua es prácticamente de la misma calidad que el agua envasada.

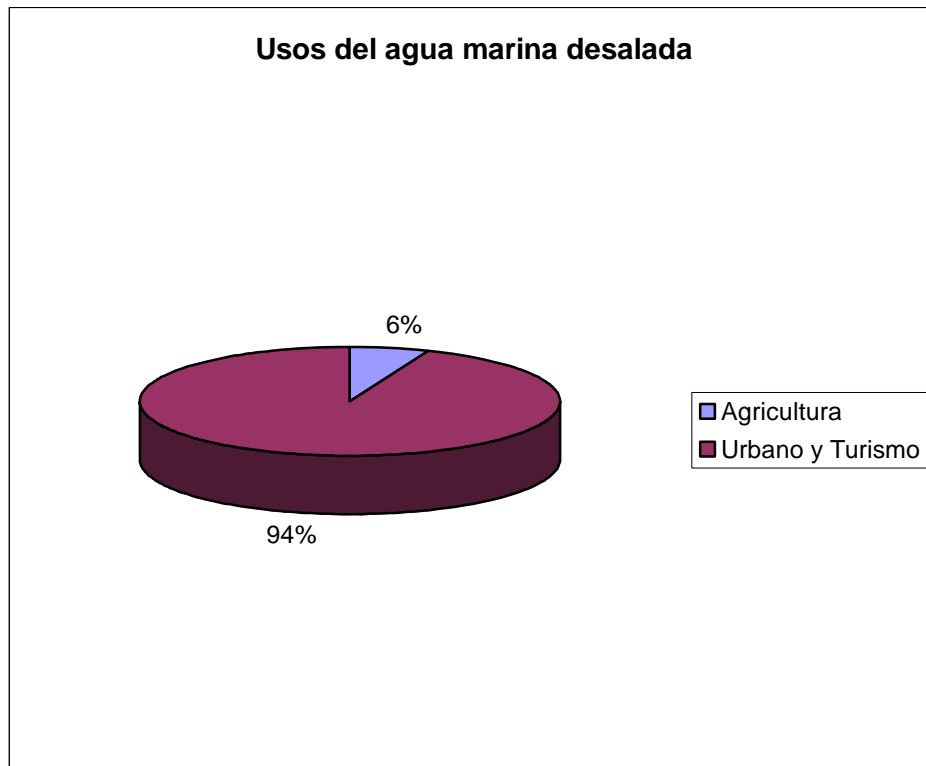
### 5.5.- Usos del agua desalada

Los diferentes usos que se le dan al agua desalada se pueden clasificar en: uso doméstico, agrícola e industrial. Se muestra en la Gráfica 8 los porcentajes del uso del agua desalada en España.



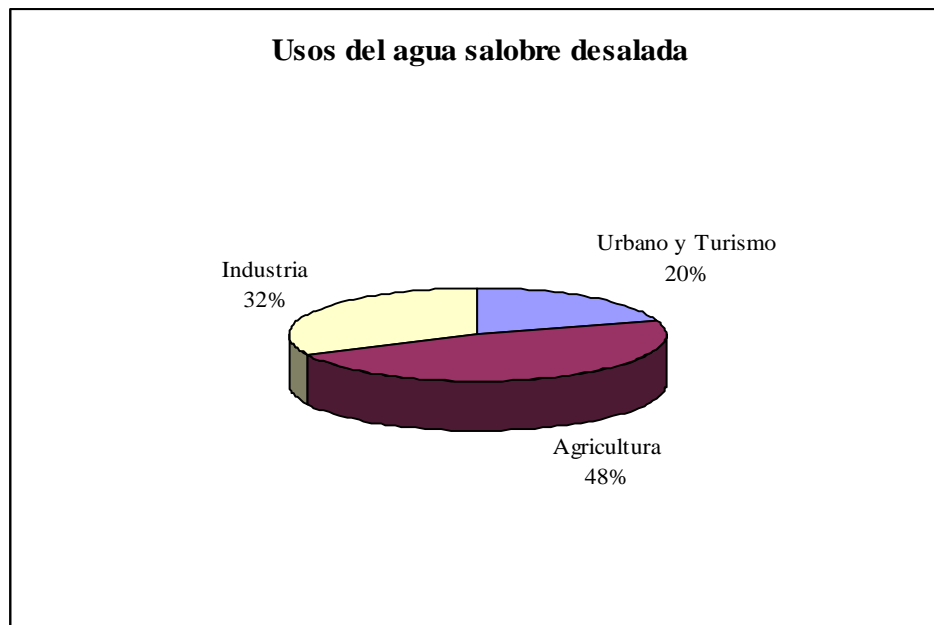
**Gráfica 8.-** *Usos del agua desalada en España.* Elaboración propia. Fuente: AEDyR (Asociación Española de Desalación y Reutilización), 2005.

La Gráfica siguiente muestra los diferentes usos del agua marina desalada en España.



**Gráfica 9.-** *Usos del agua marina desalada en España.* Elaboración propia. Fuente: AEDyR (Asociación Española de Desalación y Reutilización), 2005.

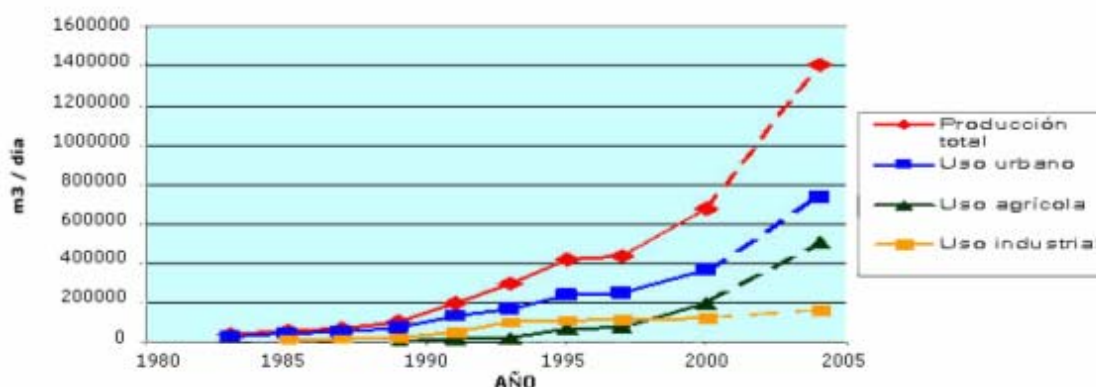
La Gráfica 10 nos muestra una distribución porcentual por sectores del agua salobre desalada, en España.



**Gráfica 10.-** *Usos del agua salobre desalada en España.* Elaboración propia. Fuente: AEDyR (Asociación Española de Desalación y Reutilización), 2005.

Se observa que España es uno de los países que realmente utiliza agua desalada para la utilización agrícola.

La siguiente Gráfica, representa la creciente evolución de los usos en los diferentes sectores del agua desalada en España.



**Gráfica 11.- Evolución y usos del agua desalada en España** Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006.

## 5.6.- Sabor del agua desalada

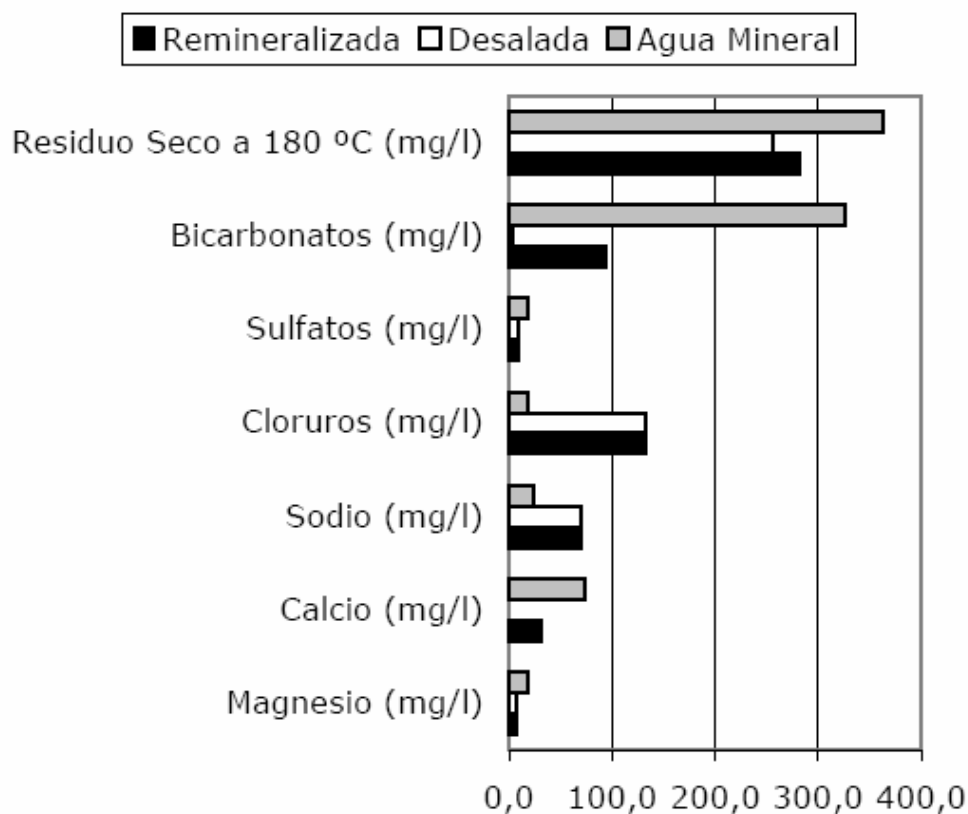
La mayoría de los que han probado el agua desalada opinan que tiene un sabor raro. Los entendidos explican que tiene un sabor ácido, aspecto que lo detectamos en los laterales de la lengua, también dicen que tiene un sabor un poco metálico y que tiene un ligero picor como si tuviera algo de gas. El caso es que el agua desalada no sabe igual que las aguas minerales.

Según La Revista “El Manantial” (junio 2004, número 23, año 5), se han recopilado los análisis de 28 aguas minerales de distintas marcas, algunas de la península y Europa y otras de Canarias, comprobando su composición, con la del agua desalada antes y después de la remineralización de carbonato cálcico.

En primer lugar, se comprobó que hay algunas aguas como por ejemplo Vichy Catalán, Apolliniaris o Pinalito que tienen un contenido en sales anormalmente alto (>1000 mg/L). Por otro lado, hay otras de una mineralización muy débil (<60 mg/L), como por ejemplo Bezoya o Fonteide. Descartando por tanto estos extremos se han seleccionado 11 aguas minerales cuyo contenido en sales podríamos llamar medio, esto es entre 600 y 150 mg/L de sólidos totales.

La Gráfica 12 resume los resultados de este análisis. Se observa que las aguas minerales son generalmente aguas bicarbonatadas con bajo sodio y magnesio. Sin

embargo, las aguas desaladas son aguas cloruradas sódicas con muy pocos bicarbonatos, muy poco calcio y algo de magnesio. Las aguas desaladas remineralizadas sin embargo, tienen un contenido en bicarbonatos y calcio significativamente mayor, de ahí sin duda su mejor sabor. Las aguas desaladas tienen además un pH alrededor de 6 mientras que las aguas remineralizadas están alrededor de 8 valor semejante al de las aguas minerales (este dato no se incluye en la Gráfica 9 porque no aparece generalmente en las etiquetas de las botellas). De este análisis se comprende el porqué las agua remineralizadas mejoran tanto el sabor respecto a las aguas desaladas y porqué aunque no llegan a ofrecer la calidad de las aguas minerales, si mejoran considerablemente su calidad respecto al agua desalada sin tratar.



**Gráfica 12.-** Comparación entre distintos tipos de agua. Fuente: La Revista "El Manantial" (número 23, año 5), Junio 2004.

## **5.7.- Conclusiones**

La calidad del agua obtenida por cualquier método de desalación es apta para el consumo humano tan solo con un pequeño postratamiento en algunos casos. El pretratamiento es necesario par el adecuado funcionamiento de la instalación desaladora.

En el caso de aguas para uso agrícola o industrial, es necesario estudiar de forma individualizada cada caso. En la mayoría de ellos, los requerimientos mínimos siempre van a ser menores que el del agua potable, con lo que cualquier método desalador cumple holgadamente dichos requerimientos.



## **6.- GENERALIDADES DE LA DESALACIÓN**

## **6.- Generalidades de la desalación**

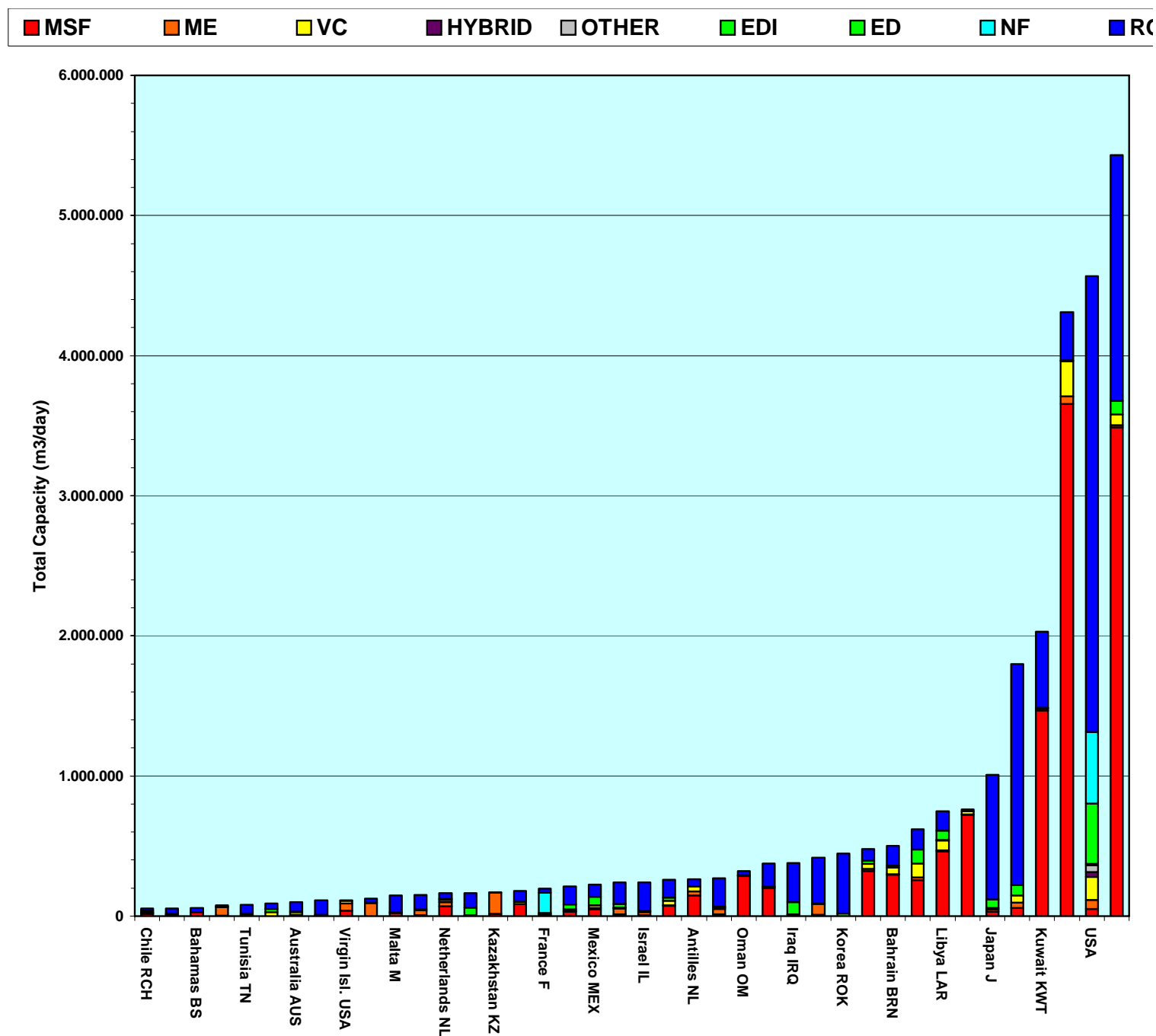
### **6.1.- Desalación en el mundo**

El objetivo de este apartado es mostrar de una forma global cual es la situación actual de la desalación de agua del mar y salubre. Viendo cuales de los métodos de desalación son los más usados y qué países son los que tienen una mejor tecnología para desalar etc.

Según los datos de los datos de la IDA (Asociación Internacional de Desalación, del año 2000), en el mundo existen 13.600 desaladoras, con una capacidad de producción de 26 Mm<sup>3</sup>/día, y distribuidas entre 120 países.

En España es el quinto país, en capacidad de desalación instalada; detrás de los Estados del Golfo Pérsico, con Arabia Saudita a la cabeza, y de los Estados Unidos.

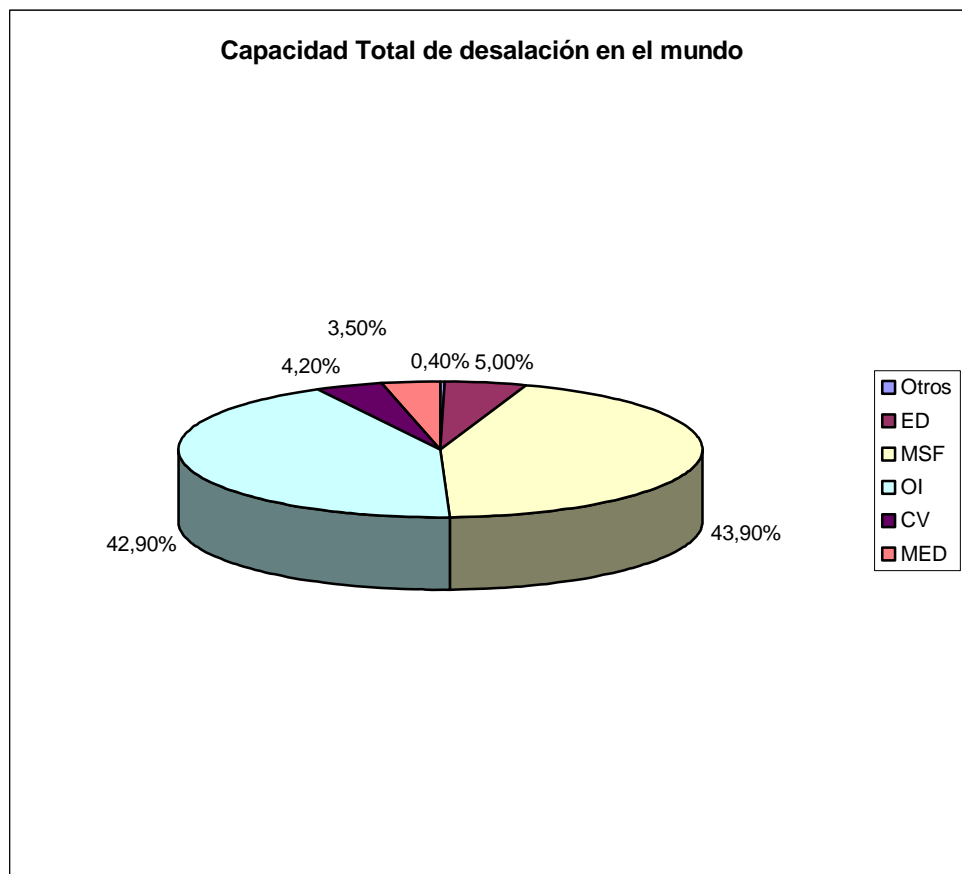
La siguiente Gráfica muestra la capacidad de desalación en el mundo.



Gráfica 13.- Capacidad de desalación en el mundo. Fuente: Grupo AGBAR, agua y saneamiento, 2004.

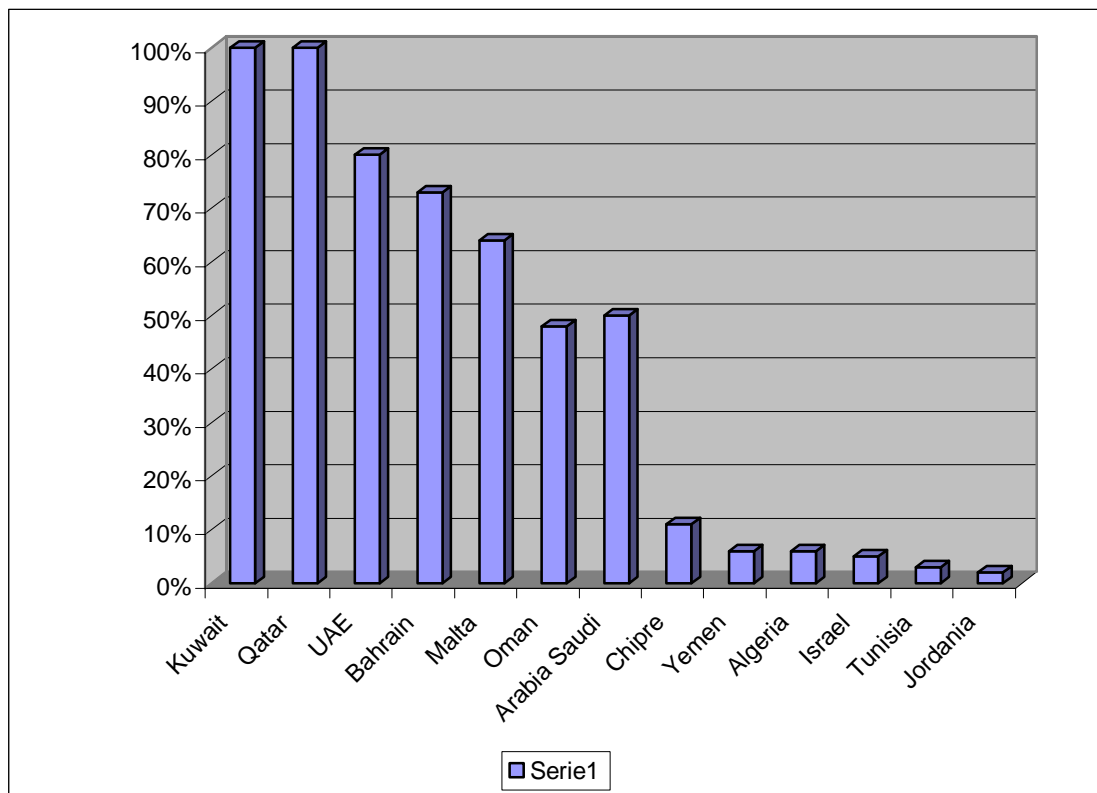
En la actualidad (2007) funcionan más de 7.500 plantas desaladoras en todo el mundo, dos tercios de ellas en Oriente Medio, donde a menudo no hay alternativa posible. En Norteamérica, están instaladas sobre todo en Florida y el Caribe, donde se produce el 12% del volumen mundial de agua desalada. Los estadounidenses, sin embargo, sólo reciben un 1% de su agua con esta procedencia. En el futuro, no obstante, esta cifra crecerá necesariamente. Países como China o Japón ven crecer su demanda de forma constante.

Tal como se muestra en la Gráfica 14. los métodos de desalación más utilizados en el mundo son la OI (Ósmosis Inversa) y MSF (Destilación súbdita por efecto Flash Multietapa).



**Gráfica 14.-** Situación actual de los procesos de desalación en el mundo. Elaboración propia.  
Fuente: Fuente: Grupo Agbar, agua y saneamiento, 2004.

La siguiente Gráfica muestra los Países con mayor porcentaje de agua desalada, para usos doméstico e industrial:



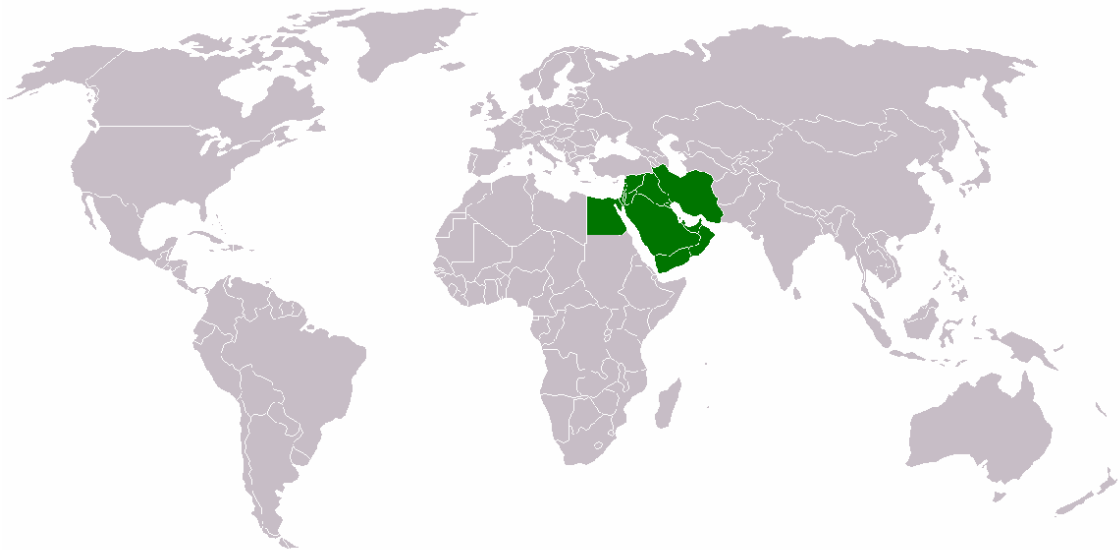
**Gráfica 15.- Países con mayor porcentaje de agua desalada.** Elaboración propia. Fuente: Grupo Agbar, agua y saneamiento, 2004.

La producción actual de agua potable, con origen marino, corresponde a una demanda de 60 millones de habitantes. De las 71 ciudades, sin acceso a nuevas fuentes de agua potable locales, 42 son costeras.

### 6.1.1.- Oriente Medio

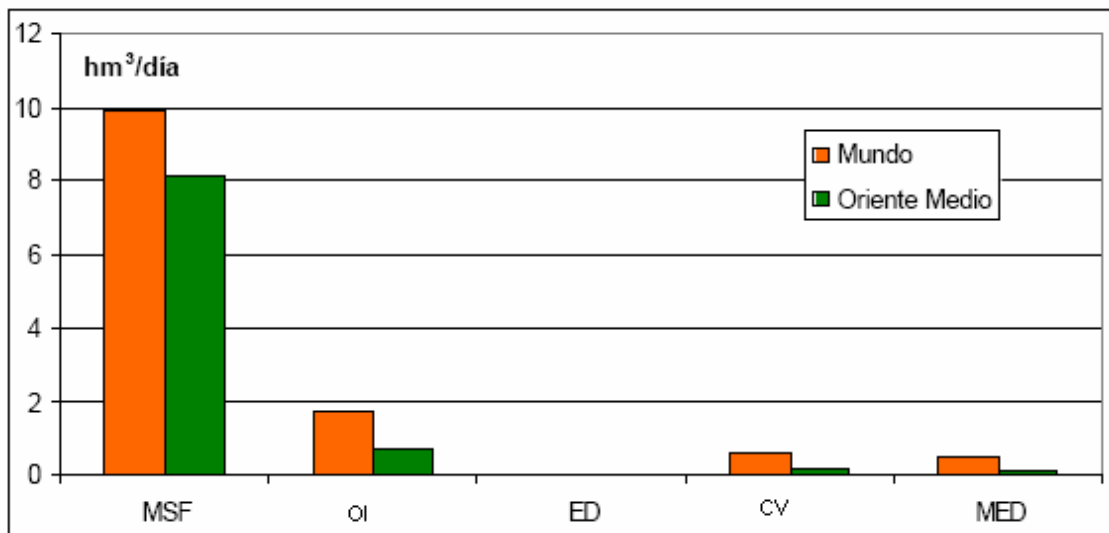
Generalmente, el término hace referencia al conjunto formado por los siguientes países y territorios: Bahrein, Egipto, Irán, Iraq, Israel, Jordania, Kuwait, Líbano, Omán, Qatar, Arabia Saudita, Siria, Emiratos Árabes Unidos, Yemen, Franja de Gaza (bajo el control de la Autoridad Nacional Palestina) y Cisjordania (parte bajo el control de la Autoridad Nacional Palestina y parte bajo ocupación israelí).

Los países del Maghreb (Argelia, Libia, Marruecos y Túnez) están frecuentemente enlazados al Oriente Medio debido a la fuerte relación cultural e histórica. Otros países como Sudán, Mauritania y Somalia también tienen una relación cercana con esta región. Turquía y Chipre, aunque están geográficamente próximas a esta región se consideran parte de Europa. Al este, Afganistán es a veces relacionado con el Oriente Medio.



**Fig. 27.-** *Región de Oriente Medio.* Fuente: Enciclopedia Libre, 2007.

Oriente Medio representa el 61% de la capacidad desaladora instalada en todo el mundo. Siendo la tecnología de MSF como predominante respecto al resto de técnicas evaporativas, como puede verse en la Gráfica 16. con alrededor del 80% del agua de mar desalada por procesos MSF.



**Gráfica 16.-** Capacidad total controlada de agua de mar, por métodos de desalación.  
Fuente: Alawadhi, 1996.

La siguiente tabla muestra un resumen de la capacidad instalada desglosada por técnicas de desalación (m<sup>3</sup>/día) en la región del Oriente Medio.

País	MSF	MED	CV	OI	ED	TOTAL
Arabia Saudita	3.486.985	17.870	75.512	1.751.191	97.776	<b>5.429.334</b>
Argelia	125.222	955	33.525	83.946	19.976	<b>263.624</b>
Bahrain	581.420	1.135	47.264	140.526	13.914	<b>784.259</b>
Egipto	33.652	2.577	12.350	139.133	33.385	<b>221.097</b>
Irán	319.769	18.210	34.478	85.874	20.710	<b>479.041</b>
Iraq	10.824	1.175	-	232.051	88.563	<b>332.613</b>
Israel	7.191	21.028	2.604	196.739	6.578	<b>234.140</b>
Jordania	-	-	1.100	7.726	1.537	<b>10.363</b>
Katar	782.901	3.462	21.334	13.811	-	<b>821.688</b>
Kuwait	1.468.750	11.672	150	166.472	5.093	<b>1.652.137</b>
Líbano	520	-	14.670	3.200	-	<b>18.390</b>
Libia	462.575	6.456	71.480	138.430	69.264	<b>748.214</b>
Mauritania	3.000	-	1.654	-	-	<b>4.654</b>
Marruecos	7.002	-	8.064	-	1.404	<b>16.470</b>
Omán	329.927	4.200	14.019	28.837	896	<b>377.879</b>
Palestina	-	-	-	2.246	-	<b>2.246</b>
Somalia	-	-	120	288	-	<b>408</b>
Siria	-	-	-	6.983	1.983	<b>8.966</b>
Sudán	226	750	900	-	-	<b>1.876</b>
Túnez	336	240	4.820	58.615	-	<b>64.011</b>
UAE	4.468.769	9.346	474.505	174.553	5.102	<b>5.132.275</b>
Yemen	2.400	61.506	250	7.411	3.330	<b>74.887</b>
<b>TOTAL</b>						<b>16.678.852</b>

**Tabla 13.-** Capacidad instalada (m<sup>3</sup>/día) en la región de Oriente Medio, desglosada por técnicas de desalación. Fuente: Wateramrk, 2000.

La capacidad instalada alcanza unas cifras considerables en países de densidad demográfica baja. Podemos destacar los Emiratos Árabes Unidos (UAE), que en tan solo 3 años han doblado su capacidad de desalación para una población no excesivamente alta (2,2 millones de habitantes). Sin embargo, los países del Golfo no reciclan más del 35% de sus aguas residuales, que contribuye sólo al 2.2% de su suministro, dicha agua es normalmente utilizada para el riego de cultivos y jardines y algún proceso industrial, con un total de 105 plantas de tratamiento con una capacidad conjunta de 2 hm<sup>3</sup>/día (Alawadhi, 1999). No cabe duda que dichas plantas deben ser



más utilizadas, para prevenir el impacto ambiental y la intrusión del agua salada en las capas freáticas subterráneas.

La contaminación medioambiental, y en especial la contaminación del agua son dos preocupaciones crecientes en esta región. Esto ha fomentado la necesidad de desarrollar nuevas infraestructuras que permitan el aprovechamiento de residuos, y programas medioambientales que incluyen la construcción de nuevas plantas de tratamiento del agua y residuos.

Por la gran importancia de esta región en temas de desalación, a continuación se describe de forma más detallada la situación actual de algunos de sus países más importantes.

#### 6.1.1.1.- Irán



**Fig. 28.- Situación geográfica de Irán.** Fuente: Global Mapping Internacional, 2007.

El desarrollo y mejora de las infraestructuras en Irán, que se vieron gravemente perjudicadas durante la guerra con Iraq, no ha avanzado al ritmo deseado debido a las enormes restricciones financieras existentes. Los grandes proyectos de desarrollo han

sido abandonados en los años inmediatos de la posguerra a favor de la rehabilitación de proyectos de menor escala. En ese sentido, la reapertura del seguro de crédito a la exportación por parte de algunas agencias europeas no ha tenido las consecuencias esperadas respecto a la participación extranjera en los proyectos de desarrollo de infraestructuras. Así, la mayoría de los proyectos en este campo están siendo llevados a cabo por contratistas locales.

#### 6.1.1.2.- Israel



**Fig. 29.- Situación geográfica de Israel.** Fuente U.S Comitee for Refugess and Immigrants, 2007.

La tradicional escasez de agua, ha provocado que el Comité del Agua del Gobierno israelí haya adoptado medidas de urgencia para tratar de paliar la crisis de agua existente en el país. La primera medida de choque sería la importación de entre 50 y 100 millones de metros cúbicos de agua al año procedente de Turquía. Otra medida desarrollada sería la promoción de la construcción de una nueva planta de desalinización con una capacidad de 100 millones de metros cúbicos en la región de Hadera.

### 6.1.1.3.- Jordania



**Fig. 30.- Situación geográfica de Jordania.** Fuente: United States Agency Internacional development, 2007.

La escasez de agua, impone una fuerte limitación para Jordania, en orden a alcanzar un mayor desarrollo económico. La posibilidad de tomar este recurso de zonas en las que se halla con cierta facilidad para llevarlo a zonas áridas impone la necesidad de realizar grandes proyectos de cooperación entre los países vecinos. La cooperación con los países vecinos resulta casi utópica, sí se está experimentando en cierto grado a escala internacional. Un ejemplo de esta cooperación ha sido la financiación, por parte de la Agencia Estadounidense para el Desarrollo Internacional (USAID) del proyecto de expansión y rehabilitación de una planta de tratamiento de aguas residuales en Mafrag con una inversión de 10 millones de dólares (11,39 millones de euros). Además, la Unión Europea subvencionó con 124 millones de euros durante el período 2002–2004, al gobierno de Jordania, lo que sin duda generó nuevas oportunidades de negocio para las empresas europeas.

#### 6.1.1.4.- Egipto



**Fig. 31.- Situación geográfica de Egipto.** Fuente: Travel web, 2007.

El notable incremento de población acaecido en Egipto en los últimos años, unido a la escasez de agua en determinadas zonas, ha generado una importante necesidad de inversiones en el sector. La situación económica del país ha propiciado por parte del Gobierno el fomento de la inversión extranjera, aunque sigue dependiendo de créditos de ayuda y donaciones tanto multilaterales como bilaterales. Varias empresas internacionales, entre las que se encuentra la española *Unión Fenosa*, han entregado al Gobierno sus expresiones de interés para desarrollar una planta de energía y desalación en el Sinaí. Se han propuesto varias alternativas:

- a) Una planta de electricidad de 300 MW con una unidad de desalación de 112,5 millones de metros cúbicos de capacidad.
- b) Con respecto a la financiación se están analizando varias opciones, incluyendo esquemas *Build, Own, Operate and Transfer* o *BOOT* (construir, poseer, operar y transferir). El proyecto se enmarca dentro

de una iniciativa más amplia emprendida por el Ministerio de Energía para promover el desarrollo de complejos de agua y electricidad en la zona del Sinaí.

#### 6.1.1.5.- Turquía



**Fig. 32.- Situación geográfica de Turquía.** Fuente: Oracle ThinkQuest – Education Foundation, 2007.

La realización de proyectos de cierta envergadura en Turquía, que requieren una tecnología sofisticada e importantes inversiones de capital, ha obligado a crear un marco legislativo específico para los concursos públicos en los que se apoyan muchos de estos proyectos. Entre ellos, cabe destacar la realización de distintas infraestructuras: puentes, túneles, presas, canales de riego, tratamiento de aguas residuales, comunicaciones, minería, plantas industriales, proyectos de medio ambiente, construcción de autopistas y líneas férreas, aparcamientos públicos, puertos, aeropuertos y todo tipo de servicios relacionados ellas. La presencia de este marco normativo ha propiciado la asistencia financiera de agencias multilaterales de cooperación, así como la inversión privada en el país, siendo, de hecho, uno de los países asiáticos que cuentan con mayor presencia española. Empresas como *OHL*, *Pridesa*, *Ineco* o *Ikusi* han participado ya en algún proyecto de desarrollo de infraestructuras.

#### 6.1.1.6.- Kuwait



**Fig. 33.- Situación geográfica de Kuwait.** Fuente: World Maps Informantion, 2007.

La totalidad del país, a excepción de algunas pequeñas áreas costeras, es un desierto predominantemente llano, con algunas ondulaciones. El predominio del desierto impide, prácticamente la formación de suelos. Las temperaturas medias anuales oscilan entre 13,5 °C en enero, hasta 36,6 °C, y las precipitaciones medias anuales apenas llegan a los 127 mm, la mayor parte de las cuales se producen en la estación templada, entre octubre y marzo. Durante la estación seca las temperaturas pueden sobrepasar con frecuencia los 46,1 °C. El país obtiene sus suministros de agua de la desalinización de agua del mar. Los únicos recursos naturales de Kuwait son el petróleo y el gas natural.

El clima seco y la árida tierra de Kuwait casi han imposibilitado la labranza. En 2005, sólo 6.000 ha estaban arboladas, lo que constituye el 0,3% de la superficie nacional de Kuwait. No existen fuentes renovables de agua. El agua potable se obtiene únicamente de acuíferos subterráneos y de la desalinización del agua del mar. Sin los

recursos económicos que genera el petróleo, el medio ambiente de Kuwait sería demasiado duro para mantener una población sustancial. No obstante, la población del país aumenta anualmente un 3,52% (2006), lo que significa una de las tasas de crecimiento demográfico más altas del mundo. El 96% (2003) de la población es urbana.

La polución del aire supone una especial preocupación ecológica. Kuwait obtiene el 100% (2003) de su electricidad de las centrales térmicas que operan con combustibles fósiles. El país tiene una de las más altas tasas del mundo en lo que respecta a la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera, resultado de procesos industriales, 59.781.824 toneladas (2002), así como del consumo de petróleo per cápita, que es de 44,2 barriles por año (2003).

Estudios recientes demuestran que los problemas de agua exigen, por el crecimiento de la población, una solución a largo plazo, sólida y no contaminante. El clima existente permite producir agua, con destilación solar de agua, a precios económicos.

#### 6.1.1.7.- Arabia Saudita



**Fig. 34.- Situación geográfica de Arabia Saudita.** Fuente: Australian Government – Despartament of Foreing Affairs and Trade, 2007.

Arabia Saudita situada en Oriente Medio, bordeando el Golfo Pérsico y el Mar Rojo, al Norte de Yemen, con una superficie total de 1.960.582 Km<sup>2</sup> (superficie en regadío: 4.350 km<sup>2</sup>). Con una serie de problemas medioambientales como: desertización, agotamiento de aguas subterráneas, la falta de ríos y lagos que han potenciado la construcción de grandes plantas de desalinización de agua del mar.

Para mejorar el suministro de agua potable a la población en todos los rincones del país, recientemente se han construido 30 estaciones de desalinización de agua salobre el Mar Rojo y el Golfo árabe, cuya producción efectiva, durante los años 2.003-2.004 superó los 1.085 millones de metros cúbicos de agua potable que llegan más de 40 ciudades, provincias, centros y poblaciones a través de acueductos que se extienden sobre una distancia que supera los 3.270 Km.



Se aprovechó también de la producción de energía eléctrica que producen algunas estaciones de desalinización de agua y que alcanzó en el mismo período más de 22 millones de megavatios por hora.

#### 6.1.1.8.- Emiratos Árabes Unidos (UAE)



**Fig. 35.- Situación geográfica de Emiratos Árabes Unidos.** Fuente: Mapas y Guías de todo el mundo, 2007.

Los Emiratos Árabes Unidos poseen reservas de petróleo en el orden de los 98 mil millones de barriles, 10% total mundial y ocupan el cuarto lugar mundial después de Rusia, Irán y Qatar en reservas de gas natural.

Aunque ostenta un gran poder en cuanto a fuentes de energía, en los Emiratos Árabes Unidos un litro de agua es casi tan caro como un litro de gasolina. Pero no se ahorra: por día y per cápita se consumen unos 800 litros de agua. La mayor parte de ese volumen no fluye por las cañerías de los hogares, sino que se utiliza para regadío.

Los países del Golfo cultivan así fruta y verdura en el desierto. Si bien los Emiratos utilizan para ello cada vez más aguas residuales recuperadas, el nivel de aguas freáticas disminuye constantemente desde hace 30 años. A mediano y largo plazo, el abastecimiento de agua dulce, dependerá por ello sobre todo de las plantas de desalinización.

Los países del Golfo han invertido en los últimos 20 años 50.000 millones de dólares en plantas de desalinización de agua de mar. En Arabia Saudita funcionan unas 400, en Kuwait unas tres docenas y en los Emiratos Árabes Unidos, unas 100.

Éstas a menudo son, sin embargo, anticuadas, según la Cámara Alemana de Industria y Comercio (DIHK). Además, plantas de tratamiento de aguas residuales permiten que se filtren aguas servidas en la tierra y lleguen hasta las aguas subterráneas. Por ello, gran parte de esas instalaciones deben ser renovadas y reconstruidas.

Un ejemplo de la importancia de la exportación de tecnología para abastecer de agua potable a la población es la empresa Aqua Society, de Renania del Norte-Westfalia (Alemania), la cual prueba actualmente una instalación para destilar agua potable de la humedad del aire, un método que se aplica por ejemplo en Chile, donde la humedad del aire es enorme en verano.

### **6.1.2.- África**

En África se observa una distribución desigual de la disponibilidad de agua dulce. África Occidental y África Central tienen una precipitación significativamente mayor a la de África del Norte, el Cuerno de África y África del Sur.

Debido a la escasez de precipitaciones en algunos países, un gran número de personas depende del agua subterránea como fuente primaria de agua dulce, como son Argelia y Libia con un 60% y 95% de uso del agua subterránea.

También es importante destacar las catástrofes naturales ocurridas a causa del agua, ya siendo sequías e inundaciones. Durante los últimos 10 años, África ha experimentado casi un tercio de las catástrofes relacionadas con el agua ocurridas a nivel mundial, con

casi 135 millones de personas afectadas, el 80% debido a las sequías. En 2000, grandes inundaciones azotaron al África del Sur, dejando a 850.000 personas sin hogar y cobrándose casi 1.000 víctimas.

Durante el año 2000, un 64% tenían acceso a un abastecimiento de agua adecuado, por el contrario un 36% sin acceso a un abastecimiento adecuado. Por otro lado, tan solo un 13% tenían acceso doméstico a los sistemas de alcantarillado. (Fuente: ONU/WWAP.2003. Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos). Es evidente la importancia del agua para eliminar hambruna en África, la sequía se traduce en hambre y la falta de agua se traduce en falta de alimentos.

El agua por riego es una prioridad para lograr el desarrollo y la estabilidad económica. Sin embargo, pocos países pueden permitirse llevar a cabo la inversión financiera necesaria para instalar sistemas de riego eficaces, y las pérdidas de agua a causa del goteo de las tuberías y de la evaporación alcanzan hasta el 50 por ciento de Sudáfrica.

Es importante destacar que algunas de las presas más grandes del mundo se encuentran en África. La región cuenta con más de 1.2000 presas, más del 60 por ciento se encuentran en Sudáfrica (539) y Zimbabwe (213). Más del 50% de las presas se construyeron con el fin de facilitar el riego y sólo el 6% para generar electricidad. A parte del África Oriental, sólo el 20% de los hogares más ricos tienen electricidad.

Las grandes presas han tenido algunos impactos negativos, incluido el desplazamiento de personas, la erosión e inundación creciente, la pérdida de suelo, la pérdida de ingresos pesqueros río abajo, etc. El desarrollo de instalaciones de micro-hidroelectricidad se considera actualmente un medio más sostenible para la gestión de los recursos hídricos.

Son muchas las empresas privadas que intervienen en la construcción y desarrollo de muchas de las plantas desaladoras situadas en África, por ejemplo la empresa española ISOFOTON, viene trabajando en los últimos años en instalaciones conectadas a la red eléctrica y figura a la cabeza en fabricación de módulos solares fotovoltaicos en Europa.

El trabajo solicitado consiste en evaluar y revisar diez pequeñas desaladoras por ósmosis inversa, ubicadas en varias comarcas de Senegal, contemplando una propuesta de mejora, rediseño, consideraciones técnicas y actuaciones inmediatas de cada planta para su puesta en marcha o sustitución si es necesario. Por otro lado, también se ha solicitado el estudio técnico económico para el abastecimiento de agua salada a otras cinco comarcas de este país.

Otro ejemplo de la importancia del tratamiento del agua, pero en este caso referente a Plantas de tratamiento de aguas residuales y Plantas de potabilización lo encontramos en Namibia, el país más seco del sur de África, su capital Windhoek, con 61.000 habitantes, obtiene al año la cifra de 3.200 millones de litros que se utilizan para satisfacer la demanda total de agua de la ciudad en un 23%.

### **6.1.3.- América**

La desalación en los Estados Unidos se centra sobre todo en los estados de California, Tejas y Florida, ya que son las zonas costeras más áridas del país (con sequías cada vez más frecuentes en la zona) y tienen la mayor previsión de aumento demográfico del país, con un 45% en el horizonte del año 2025 (Gleick, 1998). El crecimiento del número y la capacidad de las instalaciones ha sido durante los últimos años el mayor del mundo, casi todas ellas de OI potabilizando aguas de contenido salobre.

La siguiente tabla muestra un extracto de plantas instaladas en USA durante las dos últimas décadas.

Localización	Estado	Capacidad (m <sup>3</sup> /día)	Proceso	Tipo Agua
Chandler	Arizona	10.500	OI/NF	Salobre
El Segundo	California	92.000	OI/NF	Residual
Riverside	California	24.000	OI	Salobre
Saratoga	California	23.000	MF	Deteriorada
Water Factory 21	California	23.000	OI	Salobre/mar
Dunedin	Florida	44.100	OI	Salobre
Hollywood	Florida	82.800	OI/NF	Salobre
Napples	Florida	55.200	OI/NF	Deteriorada
Sanibel	Florida	21.600	OI	Salobre
Kemole Weir	Hawai	36.800	MF	Residual
Mt.Pleasant	South California	31.300	OI	Salobre
Sherman	Tejas	27.600	ED	Deteriorada
Newport news	Virginia	26.250	OI	Salobre

MF: Microfiltración; NF: Nanofiltración.

**Tabla 14.-** Plantas de desalación de USA instaladas. Fuente: Hawaii University, 2000.

Aunque no tenga significación en el porcentaje de volúmenes desalados respecto al total mundial, la desalación en las islas caribeñas ha solucionado sus graves problemas de abastecimiento a su colonia turística. Existen numerosas plantas de capacidad reducida (Bahamas, Antigua, Barbados, islas Vírgenes) en su mayoría de tecnología MED, CV y OI (Barendsen y Moch, 1999).

#### 6.1.4.- México

Estudios realizados hace unos años ya advertían que para el año 2000 México tendría una baja disponibilidad de agua dulce (entre 1.000 y 5.000 litros anuales por persona, es decir, aproximadamente de 3 a 15 litros diarios), de ahí que el conocimiento y la puesta en marcha de técnicas para desalar agua de mar hayan resultado de gran importancia.

Sin embargo, estudios recientes en México demuestran que el problema no se resuelve únicamente con importar grandes y costosos equipos del extranjero, sino que resulta imprescindible la capacitación del personal idóneo a diferentes niveles de organización.

A pesar de que en diversos estados funcionaban plantas desaladoras, un ejemplo de la situación por la que atraviesan las plantas en México es el caso de Quintana Roo. En este estado hay varias plantas de ósmosis inversa, como las de Xcalak, cerca de Chetumal, Isla Convoy y Cozumel; no obstante, prácticamente todas ellas están abandonadas, ya sea por falta de mantenimiento y mejoras de su estructura (en la actualidad para este proceso más de 50% del equipo es de importación), o porque realmente nunca falta agua en las comunidades donde se instalaron. Resulta entonces fundamental que el gobierno, emita políticas y normas sobre la tecnología para desalar agua de mar, de acuerdo con las circunstancias de este país.

#### **6.1.5.- Asia y Oceanía**

Respecto a la situación en la región del pacífico, aunque no sea importante su cuota de participación con respecto al total mundial, es bastante interesante resaltarla (Goto y otros, 1999). Hay diferentes situaciones en esta región cuando hablamos de la desalación, por ejemplo Japón y Corea tienen su propia tecnología que compite en el mercado mundial. Por el contrario, Australia y China tienen tecnología propia que no exportan, y el resto de países necesitan importarla.

Los recursos naturales son también muy variados en esta zona, ya que en algunos países la disponibilidad hídrica se debe a la baja población, y en otros a su elevada pluviometría; se puede decir que los problemas de agua en esta zona sólo son muy localizados. Como es de suponer, el uso agrícola supone la mayor porción en la región, y el consumo doméstico depende fuertemente del nivel de vida de cada país.

La Tabla 15 resume la capacidad instalada de las plantas desaladoras en la región, así como el tipo de proceso de desalación. La capacidad es sensiblemente inferior al total de plantas instaladas en el Golfo. En conclusión se intuyen problemas en zonas ampliamente pobladas como China, acompañadas de su mejora en el nivel de vida.

País	Capacidad (m <sup>3</sup> /día)	Proceso	Uso	Tipo de agua
Australia	84.000	64% RO. 18% CV. 12% MSF+ME	45% Industria. 33% Gen. Eléctrica. 15% Municipal	70% salobre. 18% residual. 10% mar.
China	182.000	85% RO. 15% MSF+ME	55% Industria. 40% Gen. Eléctrica. 5% Consumo	50% salobre. 20% pura. 30% río, residual
Japón	129.885	88% RO. 6.5% ED. 3.5% MSF. 1.8% ME	53% Industria. 47% Consumo	Principalmente mar y salobre
Corea	180.000	> 90% RO. Resto ED	100% Industria incluyendo gen. Eléctrica.	Pura > salobre > residual > río

**Tabla 15.- Instalaciones desaladoras en el área del Pacífico. 1998.** Fuente: Goto y otros, 1999.

La situación en la India también es digna de comentar, donde hay más de 200.000 poblaciones con agua no potable, de ellas alrededor de 50.000 tienen problemas de salobridad (con niveles salinos de hasta 4.000 ppm) que afectan a 60 millones de personas. Además hay numerosos pueblos con un censo medio de 500 a 1.500 habitantes en zonas montañosas ó en deltas de grandes ríos, en los cuales el suministro de agua potable es crucial. En este país se han instalado cientos de pequeñas plantas de ósmosis inversa y electrodiálisis (OI/ED) de 10 a 30 m<sup>3</sup>/día de capacidad para consumo local (Prabhakar y otros, 1997). Sólo existen 2 plantas de destilación por múltiple efecto (MED) de más de 10.000 m<sup>3</sup>/día para suplir procesos industriales, pero hay previsión de instalación de grandes plantas.

### **6.1.6.- Europa**

Con respecto a la situación en Europa, la aportación de la desalación sólo es representativa en islas del Mediterráneo. Por ejemplo, citamos a Chipre, una isla al este del Mediterráneo con graves problemas de abastecimiento de agua, ya que sufre continuas sequías y no tiene ningún río importante. La instalación de 2 pequeñas plantas MSF, una MED y una planta OI de 20.000 m<sup>3</sup>/día ha paliado gran parte de esos problemas. La situación en Malta es similar, agravada por su condición de foco turístico. En el resto de países mediterráneos, la desalación es menos importante en cuanto al porcentaje de aportación al consumo, con pequeñas plantas MSF y CV en el sur de Italia (incluyendo Sicilia y Cerdeña), aunque la capacidad total instalada alcance un valor casi comparable al español. Grecia, y Turquía tienen también pequeñas plantas OI generalmente para abastecimiento de las islas del mar Egeo.

Finalmente, Alemania y Austria tienen plantas de reutilización de aguas residuales o de producción de agua ultrapura para procesos industriales, sin utilizarse para el consumo humano.

#### **6.1.6.1.- España**

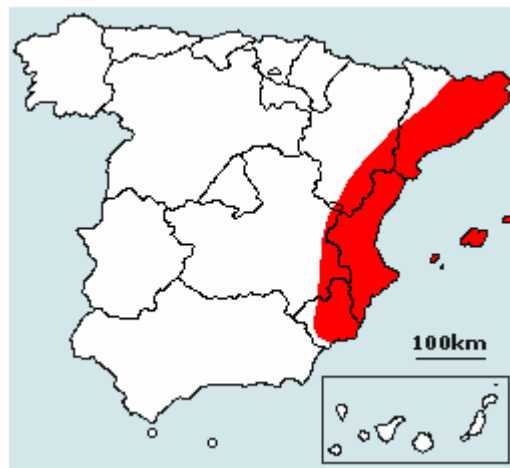
España es el quinto país en capacidad de desalación instalada, detrás de los Estados del Golfo Pérsico, con Arabia Saudita a la cabeza, y de los Estados Unidos. Actualmente, existen más de 700 desaladoras, que producen 1.300.000 m<sup>3</sup>/día de agua desalada. Es también, el país europeo más avanzado en tecnología y capacidad instalada por el método de ósmosis inversa, debido a:

- El consumo eléctrico es el menor, de entre los casos posibles.
- El coste energético depende de la salinidad del agua bruta.
- Su modularidad permite gran flexibilidad para las ampliaciones.
- Los costes de inversión son menores que en las otras tecnologías

El grave desequilibrio entre los recursos hídricos (motivado por la irregular pluviometría de nuestra geografía) y los consumos soportados en ciertas zonas con



agricultura intensiva de regadío e infraestructura turística que además consume en la época de menores precipitaciones, justifica la instalación de plantas desaladoras. La desalación en España queda afortunadamente reducida al Levante Español (se conoce como el Levante peninsular a la zona geográfica de la península Ibérica de la costa mediterránea correspondiéndose con Cataluña, Islas Baleares, la Comunidad Valenciana, la Región de Murcia, Almería y la zona más oriental de Castilla-La Mancha y Aragón), Murcia, Andalucía, los dos archipiélagos y las ciudades del Norte de África. En dichas zonas, se puede evaluar la demanda total urbana asociada al turismo como una población equivalente de 7 millones de personas, que supone el 20% del total. La producción total de agua desalada a finales del año 1998 se cifra en 222 Hm<sup>3</sup>/año, de los cuales alrededor del 42% corresponden a aguas marinas, y el 58% a salobres. Ello supone alrededor de un 4,9% del consumo total para abastecimiento urbano (alrededor de 2 millones de personas), y un 0,7% de todos los usos consuntivos del agua.



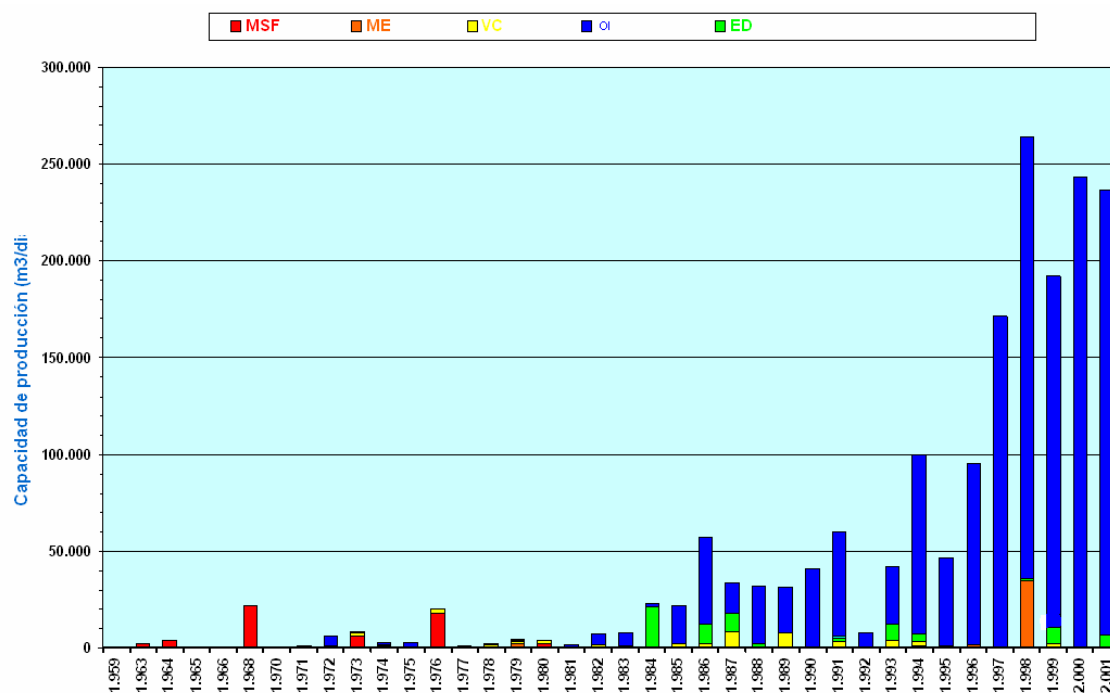
**Fig. 36.-** Situación geográfica del Levante Español. Fuente: Enciclopedia Libre, 2007.

La siguiente Gráfica muestra el porcentaje de desalación según el tipo de agua, si es agua de mar o salobre.



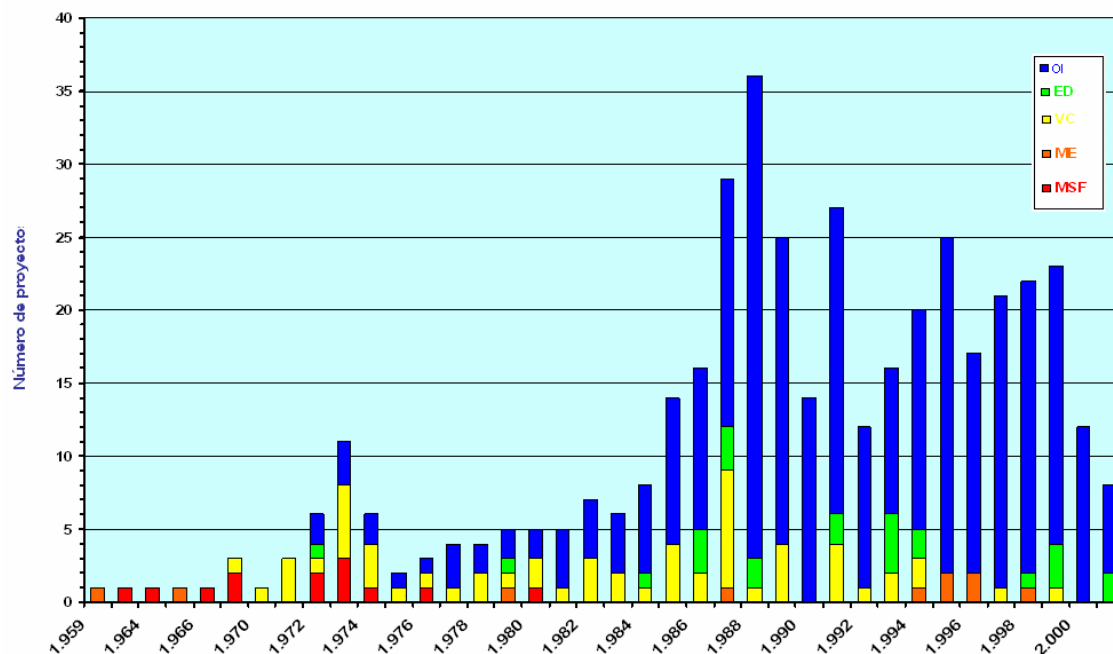
**Gráfica 17.-** Distribución de la desalación en cuanto al tipo de agua de aporte. Elaboración propia. Fuente: Medina, 2000.

El tamaño de las plantas se está incrementando, últimamente, han aumentando los m<sup>3</sup> desalados mientras han disminuido los proyectos de nueva construcción. Se muestran estas evoluciones en las siguientes tablas.



**Gráfica 18.-** Producción anual de la desalación en España. Fuente: Grupo AGBAR, agua y saneamiento, 2004.

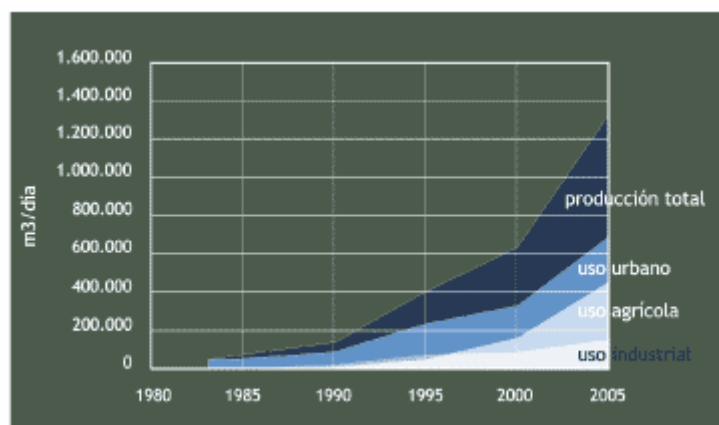
### Número de proyectos por año



**Gráfica 19.-** Número de desaladoras por año. Fuente: Grupo AGBAR, agua y saneamiento, 2004.

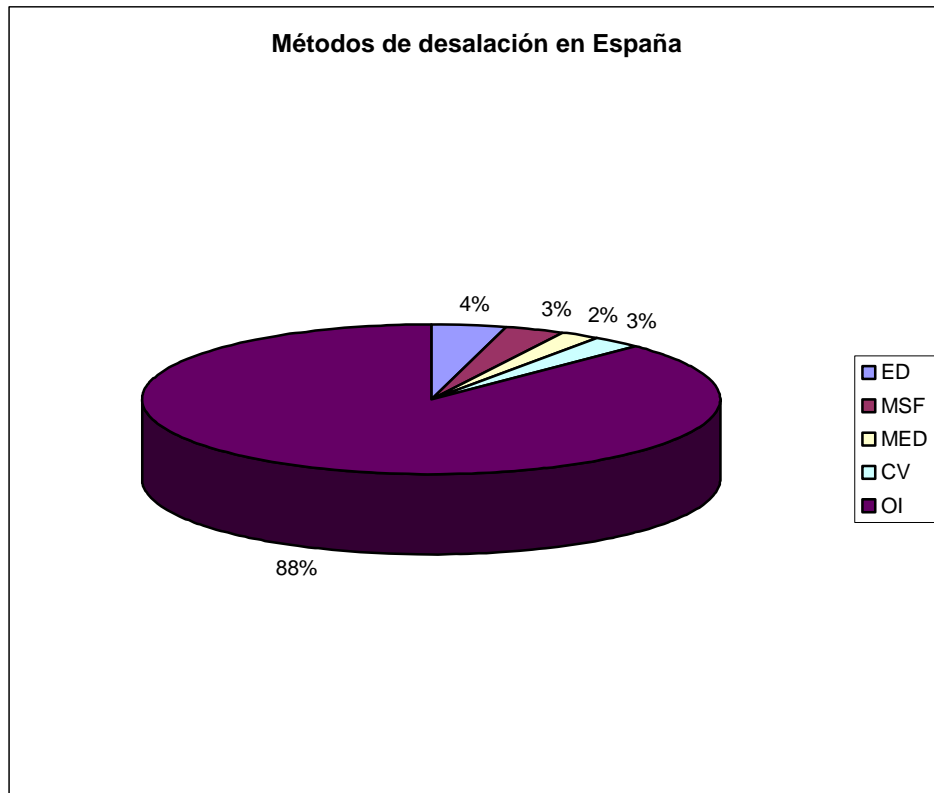
En España la desalación de agua salobre para la agricultura intensiva de regadío se ha extendido considerablemente a pesar del sobrecosto producido por el proceso de desalación con respecto a la obtención por otros métodos o de forma natural. Puede decirse que prácticamente es nuestro país el único que realmente consume aguas desaladas para su utilización agrícola, aunque haya países que si utilizan aguas desaladas para el riego de jardines, ante la imposibilidad de otras fuentes (Abu Dhabi – UAE-, Arabia Saudita). La rentabilidad obtenida por cierto tipo de cultivos no ha sido el freno para seguir con ellos, teniendo en cuenta además que el coste de aguas salobres desaladas es bastante inferior al del agua de mar.

La siguiente Gráfica muestra la evolución y los diferentes usos del agua desalada en España.



**Gráfica 20.-** Evolución y usos del agua desalada en España. La verdad Digital S.L, 2007.

Tal como se ha comentado anteriormente, por lo que respecta a los métodos de desalación, prácticamente en España, toda se debe a sistemas de ósmosis inversa. La Gráfica 21. muestra el porcentaje de la distribución de los métodos de desalación utilizados en España.



**Gráfica 21.-** *Métodos de desalación utilizados en España.* Elaboración propia. Fuente: Grupo AGBAR, agua y saneamiento, 2004.

Hay dos zonas en España afectadas por la escasez de recursos hídricos. La primera de ellas es el Archipiélago Canario y la segunda la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. Las islas Canarias han recurrido a la desalación para obtener la mayor parte del agua que demanda principalmente la industria turística. A partir de los setenta, la sobreexplotación de los escasos recursos acuíferos de las islas estaba llegando a límites preocupantes, ello ha supuesto que islas prácticamente desérticas como Lanzarote (140 mm. de precipitación anual) y Fuerteventura se abastezcan sólo con agua desalada, y en el caso de Gran Canaria llegue al 80% del total. El resultado de todo ello es que en las Canarias 1 millón de personas se abastecen de las 280 plantas desaladoras existentes,

con una capacidad de 350.000 m<sup>3</sup>/día, 100 de ellas asociadas directamente al abastecimiento de hoteles y apartamentos. El 92% de las plantas son de inversión privada, aunque las de naturaleza pública producen el 60% del agua desalada.

Otro punto interesante a considerar de las Islas Canarias es el consumo energético derivado de la desalación en unas islas sin conexión de red eléctrica entre ellas ni con el continente (deben ser autosuficientes). En islas como Lanzarote, con un 50% de consumo hídrico debido al turismo, dicho gasto eléctrico supone el 25% del total, y en el caso de Fuerteventura llega hasta el 30%.

El segundo caso es la Comunidad Autónoma Murciana, comunidad estructuralmente deficitaria (en 460 hm<sup>3</sup> anuales según el PHN) debido al consumo agrícola derivado de sus explotaciones de regadío intensivo. La sobreexplotación de los acuíferos para el regadío los ha convertido en aguas salobres de difícil uso agrícola, con lo que ha sido necesario instalar gran cantidad de pequeñas desaladoras de agua salobre de mínimo mantenimiento y gestión de los propios agricultores. La oferta de agua desalada de agua de mar se concentra en grandes instalaciones en poblaciones costeras (Mazarrón, Cartagena) (Cánovas, 2000).

Las siguientes Tablas muestran la localización y tecnología utilizada de las plantas españolas con una capacidad superior a 3.000 m<sup>3</sup>/día, aunque como se ha dicho anteriormente la ósmosis inversa es predominante en nuestro ámbito. Debe añadirse que la ampliabilidad de estas plantas, si son de OI, es muy fácil, por lo que en la actualidad muchas de ellas probablemente tienen mayor capacidad de la expuesta en la tabla.

Nombre	Inauguración	Capacidad (m <sup>3</sup> /día)	Proceso
Las Palmas I	1970	30.000	MED
Las Palmas II	1980	18.000	MSF
Lanzarote II	1987	7.500	OI
Juliano Bonny	1988	4.000	OI
Las Palmas III	1989	36.000	OI
Galdar-Agaete	1989	3.500	OI
Agragua	1991	10.000	OI
Inhalas I	1990	7.500	OI
Elmasa II	1990	7.500	OI
Lanzarote III	1991	20.000	OI
Fuerteventura III	1991	4.000	OI
Ibiza I	1991	9.000	OI
Sureste I	1993	10.000	OI
Arucas-Moya I	1995	4.000	OI
Ibiza II	1996	10.000	OI
Puert del Rosario	1996	7.000	OI
Elmasa III	1996	7.500	OI
Marbella	1997	56.000	OI
Ceuta	1997	16.000	OI
Adeje-Arona	1997	10.000	OI
Emaya	1997	4.800	OI
Bahía de Palma	1999	47.000	OI
Tenerife	1999	24.000	OI
Sureste II	1999	15.000	OI

**Tabla 16.- Plantas desaladoras más importantes en España.** Fuente: Fariñas, 1999. Wangnick, 2.000. PHN (Gobierno de Aragón), 2000.

Nombre	Inauguración	Capacidad (m <sup>3</sup> /día)	Proceso
Courtaulds	1974	5.000	OI
Enfersa	1983	3.600	ED
Maspalomas	1987	10.000	OI
Denia	1991	16.000	OI
Hernández Zamora	1991	3.400	OI
Seat Martorell	1992	10.500	OI
Gesturcal	1992	4.000	OI
Repsol Tarragona	1993	14.400	OI
Repsol Cartagena	1993	7.200	OI
Cruzcampo	1993	3.800	OI
Son Tugores	1995	35.000	OI
Bajo Almanzora	1996	30.000	OI
Mazarrón	1996	9.000	OI
Aguadulce	1996	3.100	OI
C.R. Jacarilla	1997	9.000	OI
G.E. Plastics	1997	7.200	OI
C.R.Sto Domingo	1997	6.930	OI
Félix Santiago	1997	3.100	OI
Campo de Dalías	1997	12.000	OI
Moncófar	1999	4.000	OI
Alicante	2.003	50.000	OI
Almería	2.004	50.000	OI
Carboneras	2.004	125.000	OI
Cartagena	2.004	65.000	OI
Las Palmas - Telde	2.004	35.000	MED

**Tabla 17.-** Plantas desaladoras más importantes en España. Fuente: Fariñas, 1999.Wangnick, 2.000. PHN (Gobierno de Aragón), 2000.



## 6.2.- Principales empresas fabricantes

Tal como se ha comentado anteriormente, España es el país europeo más avanzado en tecnología y capacidad instalada por el método de ósmosis inversa. En este apartado se muestran algunas de las empresas más importantes a nivel nacional y mundial.

El ministerio de Medio Ambiente ha acelerado el proceso de licitación de plantas desaladoras. Las compañías encargadas de la explotación recibirán una tasa fija y otra por producción de agua 4,5 céntimos de euro por metro cúbico. Además, la Administración pagará un canon fijo y variable mensual a la empresa encargada de explotar y mantener la instalación.

Las seis constructoras españolas que cotizan en bolsa (ACS, Ferrovial, Acciona, FCC, Sacyr y OHL) tienen una filial especializada en desalación. Algunas de las empresas más importantes a nivel nacional e internacional son:

- Sadyt (Tel.: 968354028, Fax: 968213716, C/ Platería nº6 3ª Planta, 30004 Murcia). Dedicada al diseño, construcción, investigación, mantenimiento y explotación de sistemas de tratamiento de aguas. Fue creada en febrero de 1.995. Algunas de las plantas desalinizadoras más importantes: Cuevas de Almanzora (Almería) 30.000 m<sup>3</sup>/día, Comunidad de Regantes de Pulpí 10.500 m<sup>3</sup>/día, Potabilización Vall D'Uixó 7500 m<sup>3</sup>/día.
- Tecnología Canaria del Agua (Tel.: 828012121, Fax: 828012122, C/ Juan Domínguez Pérez, 10ª 35008 Las Palmas de Gran Canaria. España. Correo electrónico: tcasa@tca-canarias.com, www.tca-canarias.com). Empresa líder en el sector del Agua, especializada en la Ingeniería, Construcción, Explotación y asesoramiento en el tratamiento y Ciclo Integral del Agua, es experta en el proyecto y ejecución de plantas de ósmosis inversa, tanto de agua de mar, como de agua salobre.
- Cadagua. Es una empresa de ingeniería y construcción de plantas de tratamiento de agua y residuos, líder en su mercado nacional y con reconocido prestigio internacional en instalaciones desaladoras de agua de mar. Cadagua entró a formar parte del Grupo Ferrovial en el año 1.985, primer grupo constructor en el mercado español y líder mundial en el sector de las concesiones de transporte.

- Inalsa ([www.inalsa.es](http://www.inalsa.es)), Insular de Aguas de Lanzarote S.A.. Se construyó el 19 de agosto de 1.989, para la gestión de los recursos y objetivos contemplados en los Estatutos del Consorcio Insular de Aguas de Lanzarote, su único accionista que a su vez está participando en un 60% por el Excmo. Cabildo Insular de Lanzarote y en un 40% por los 7 ayuntamientos de la Isla (Arrecife, Teguise, Tías, Haría, Yaiza, san Bartolomé y Tinajo).

Inalsa se encarga de la producción y abastecimiento de agua potable para el consumo de toda la Isla de Lanzarote, incluida la Isla de La Graciosa. La producción nominal total alcanza los 38.000 m<sup>3</sup>/día en plantas de tecnología de ósmosis inversa y compresión de vapor. El principal centro productor de Inalsa se encuentra en Punta de los Vientos, con las Plantas desaladoras:

- Lanzarote III 7.500 m<sup>3</sup>/día
- Lanzarote III 20.000 m<sup>3</sup>/día
- Inalsa I 5.000 m<sup>3</sup>/día
- Inalsa II 1.100 m<sup>3</sup>/día
- Inalsa III 2.600 m<sup>3</sup>/día
- Inalsa IV 5.000 m<sup>3</sup>/día (en construcción)
- Lanzarote IV 15.000 m<sup>3</sup>/día (inicio instalación 1.999)

Además se cuenta con un segundo centro productor en el municipio de Yaiza, con la Planta Inalsa Sur, de 4.800 m<sup>3</sup>/día; y una pequeña Planta en la Isla de La Graciosa de 75 m<sup>3</sup>/día de capacidad productora.

- Inima Water Systems Ibérica S.L. ([veoliawatersystems.es](http://veoliawatersystems.es), Electrodo, 52. Pol.Ind Santa Ana. 28529 RivasVaciamadrid-Madrid), subsidiaria de Veolia Water Systems, perteneciente al grupo Veolia Environnement, lleva operando en la Península Ibérica desde hace más de 40 años. Posee uno de los más importantes desarrollos industriales del mercado en desalación de aguas salobres y agua de mar, para el empleo de Municipios y en la Industria. Con una experiencia de más de 40 años, la filial española de Veolia Water Systems está considerada,

dentro de la organización mundial de la Compañía, como centro tecnológico experto en ósmosis inversa.

- IDE Canarias S.A. (IDECAN), Construcción plantas desalinizadoras, localidad: Las Palmas de Gran Canaria, provincia: Las Palmas, dirección: Ángel Guimerà, 25-bajo, CP: 35004, Tel.:928232233, Fax: 928247391.
- Ionics (GE Ionics 65 Grove Street, Watertown, Massachussets, 02472 USA, Tel.: (617) 926-2500, [www.ionics.com](http://www.ionics.com)). Desarrollando las tecnologías de ósmosis inversa y electrodiálisis.
- Degremont (183, avenue du 18 juin 1940, 92508 Rueil, Malmaison Cedex, Francia, [www.degremont.com](http://www.degremont.com)). Desarrollando la tecnología de ósmosis inversa.
- Selmar (Marsala, Italia, Vía Oberdan. 119ª, [www.selmar.it](http://www.selmar.it)), fabricantes de plantas desaladoras, principalmente dedicados a la ósmosis inversa.

### **6.3.- Conclusiones**

Debe dejar de considerarse la desalación como un recurso alternativo y empezar a considerarla un recurso más, con las mismas garantías y fiabilidad que los recursos tradicionales de agua. En algunos casos es el recurso tradicional el alternativo, debido a su escasez. La desalación se ha convertido en muchos casos incluso en el principal recurso.

La instalación de plantas desaladoras en el mundo se plantea como solución en áreas muy localizadas, Arabia Saudita, Estados Unidos y UAE (Emiratos Árabes), seguidos de Kuwait, España y Japón, donde en algunas zonas es el único modo de conseguir agua potable.

Como se ha visto anteriormente los métodos más utilizados a nivel mundial son Destilación de Flash Multietapa y Ósmosis Inversa. A modo de ejemplo, en Oriente Medio predomina la tecnología de Destilación de Flash Multietapa, mientras que en Estados Unidos y España se tiende más a la utilización de plantas desaladoras por Ósmosis Inversa. Ésta distribución de los métodos de desalación, ha dado lugar a

diferentes países que se especialicen en el estudio y fabricación de plantas desaladoras de distintas tecnologías.

La utilización del agua desalada no es uniforme, depende de la región donde esté instalada la planta, es decir, no se le da la misma ubicación al agua desalada en España que en Aurelia, por ejemplo.

En España, las instalaciones de plantas desaladoras se encuentran principalmente en áreas muy localizadas, destacando fundamentalmente las Islas Canarias, seguido de Valencia, Baleares, Andalucía y Murcia.

La evolución del mercado está siendo espectacular, sobre todo, al desarrollo experimentado por la Ósmosis Inversa. La disminución actual de los costes de agua desalada, fruto de la evolución tecnológica y del abaratamiento de la energía y las membranas, para la Ósmosis Inversa, la convierten en la técnica casi hegemónica, en España. Está propiciando que los abastecedores puedan optar por un recurso, hasta hace poco, técnicamente complicado.

Primando el criterio de “desarrollo sostenible”, deben tenerse en cuenta las repercusiones ambientales de la desalación (disposición de la salmuera y alto consumo energético) a la hora de decidir la implantación o no de una desaladora. La desalación presenta unos impactos ambientales conocidos, cuyos principales exponentes son el consumo energético y la salmuera.

En resumen, la instalación de plantas desaladoras en España se plantea como solución en áreas localizadas (hasta ahora la capacidad instalada en la mayoría de ellas no es muy grande), cosa que no ocurre en otras zonas de alto déficit estructural como Oriente Medio, donde se instalan grandes plantas en zonas aisladas de los asentamientos urbanos y se construyen grandes tuberías para su transporte. España es el país europeo más puntero en tecnologías de desalación por ósmosis inversa (de ello su masiva implantación en nuestro país), pero no en tecnologías evaporativas, donde grandes compañías alemanas e italianas, junto con las de Extremo Oriente copan el mercado en Oriente Medio.

## **7.- DESALADORAS EN LA COSTA MEDITERRÁNEA**

## 7.- Desaladoras en la costa Mediterránea

### 7.1.- Introducción

En el presente apartado se analizará detenidamente la situación actual de la utilización de plantas desaladoras en la costa Mediterránea, debido a la gran importancia que está representando en estas zonas.

Se analizará por comunidades autónomas: Cataluña, País Valenciano, Murcia y Andalucía.

Se clasifican en 4 grupos, según las cuencas. Se muestra en la siguiente Tabla.

<b>Cuenca Andaluza</b>	Andalucía
<b>Cuenca Segura</b>	Murcia
<b>Cuenca <u>Júcar</u></b>	Comunidad Valenciana
<b>Cuenca de Cataluña</b>	Cataluña

**Tabla 18.-** Distribución de las Cuencas en el Mediterráneo. Elaboración propia. Fuente: Trasvases y la desalación. Tiza y Pizarra, 2005.

Sólo cuatro de las 26 desaladoras del plan A.G.U.A, están en funcionamiento.

El balance actual -aunque mejorable- es aceptablemente satisfactorio. Así, en el ámbito de la desalación, Acuamed (Aguas de las Cuencas Mediterráneas) ha adjudicado ya los contratos de cuatro plantas, por un importe global de más de 640 millones de euros y con una capacidad conjunta de producción de 165 hm<sup>3</sup>/año, equivalente, para hacernos una idea, al abastecimiento íntegro y exclusivo de una población de unas 1.700.000 personas. La planta de Torrevieja, la mayor de todas, destinará 40 hm<sup>3</sup> al

abastecimiento de Alicante y Murcia a través de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla, y otros 40 hm<sup>3</sup> al Sindicato Central de Regantes del Acueducto Tajo/Segura, si bien esta última capacidad puede ampliarse hasta 60 hm<sup>3</sup>. La planta de Águilas, también de grandes dimensiones, suministrará 50 hm<sup>3</sup>/año a los regantes de esta población y los de Lorca, Puerto Lumbreras y Pulpí, y 10 hm<sup>3</sup> a la Mancomunidad del Taibilla. La planta, más pequeña, del Almanzora aportará 15 hm<sup>3</sup> a los regantes almerienses de esta zona y 5 hm<sup>3</sup> a la sociedad pública Galasa que abastece al levante almeriense. Finalmente, la ampliación de la actual planta desalobradora de El Mojón incrementará en otros 5 hm<sup>3</sup> los recursos que aporta a los regantes de la cuenca del Segura.

Otras seis plantas -con una capacidad conjunta de producción de 85 hm<sup>3</sup>/año- se encuentran actualmente en licitación o lo van a estar de forma inmediata. La mayor parte de ellas se destina al abastecimiento; son las de Adra en Almería, Mutxamel/Campello y Denia en Alicante, Sagunto en Valencia y Oropesa en Castellón; la planta de Dalías, también en el poniente almeriense, se utilizará para abastecimiento y regadío. En cuanto a las plantas de Fuengirola/Mijas en Málaga y la de Moncófar en Castellón -ambas para abastecimiento, con una capacidad conjunta de 32 hm<sup>3</sup>, van a iniciar el proceso de información pública en muy breve plazo.

De otro orden distinto, para terminar con el sector de la desalación, ha sido la actividad respecto a varias plantas no ejecutadas por Acuamed, pero cuya explotación tiene encomendada directamente o a través de la sociedad estatal Acusur, absorbida por la primera en 2006. Así, Acuamed, por una parte, ha adquirido a la Mancomunidad de Municipios de la Costa del Sol Occidental la planta de Marbella -de 20 hm<sup>3</sup>/año de capacidad-; por otra, ha puesto en servicio en 2005 las plantas, construidas por Acusur, de Carboneras en Almería -42 hm<sup>3</sup> para abastecimiento y riego- y El Atabal en Málaga, instalación que puede tratar 60 hm<sup>3</sup> de las aguas salinizadas del embalse de Guadalhorce para el abastecimiento de la ciudad. La entrada en explotación de estas tres plantas ha sido crucial para garantizar el suministro de agua durante la tremenda sequía que ha afectado en estos años a la que fue Cuenca Hidrográfica del Sur, hoy Cuenca Mediterránea Andaluza.

Los 1.800 agricultores de la Comunidad de Regantes de Cueva de la Almanzora en Palomares (Almería) riegan 5.500 hectáreas con los 25.000 m<sup>3</sup> que les asegura la planta desaladora de los acuíferos de la zona, independientemente de las aportaciones pluviométricas y de las sequías.

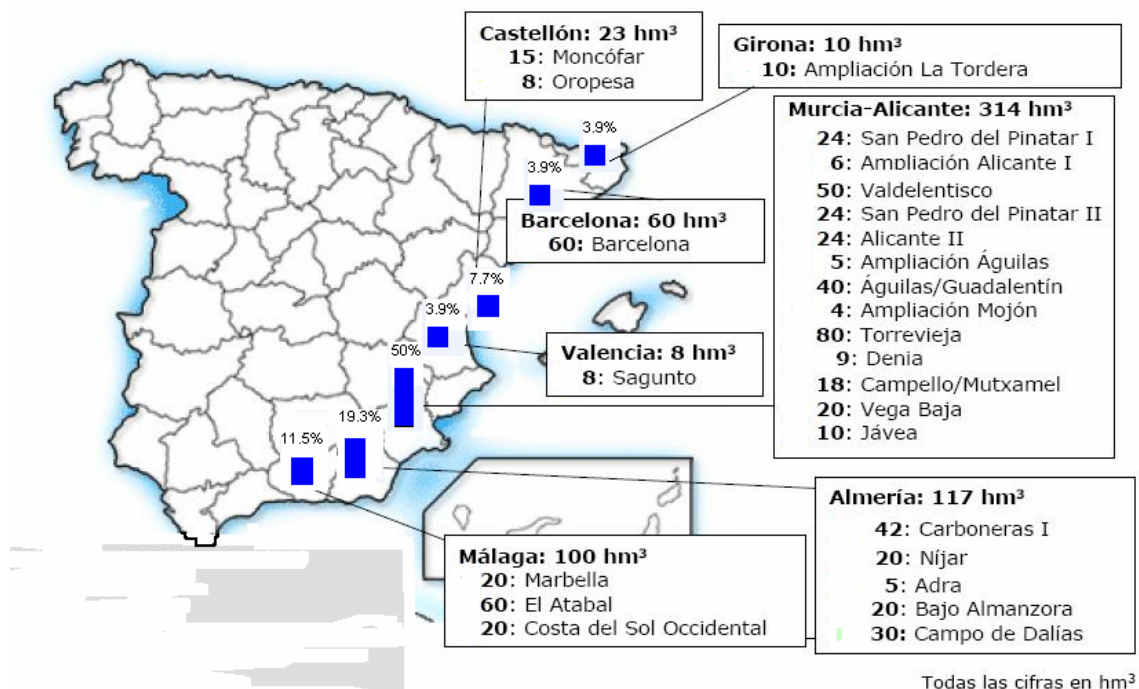
La Comunidad de Regantes de Mazarrón (Murcia) tiene en funcionamiento una planta desaladora desde noviembre de 1995, que les aporta 4.500 m<sup>3</sup>/Ha para regar 3.600 hectáreas.

La desalación permitirá liberar aguas superficiales y subterráneas, que hoy se utilizan en el litoral para actividades inmobiliarias y turísticas, en detrimento de otros usos agrarios y de abastecimiento en el interior.

El Programa A.G.U.A. mejora la gestión y reutilización del agua, contribuye a una mejor calidad de ésta y de los ecosistemas asociados e incrementa la oferta de recursos hídricos obtenidos de una forma sostenible, garantizando la disponibilidad del agua racionalmente necesaria.

Las actuaciones previstas dentro del Programa A.G.U.A. en el Arco Mediterráneo, la mayor parte de ellas urgentes, suponen unas aportaciones totales de nuevos recursos que superarán los 1.100 hm<sup>3</sup>/año, con una inversión total estimada de unos 3.900 millones de euros.





**Fig. 37.- Plantas Desalinizadoras en las cuencas Mediterráneas.** Elaboración propia. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, Programa A.G.U.A, 16 mayo 2006.

## 7.2.- Cataluña



**Fig. 38.- Mapa de España por autonomías, Cataluña.** Fuente: España por Autonomías, 2007.

### 7.2.1.- Geografía

La Comunidad Autónoma de Cataluña (España) es un territorio que se articula entre la península Ibérica y territorio continental europeo (Valle de Arán). Limita con las comunidades autónomas de Aragón (provincias de Huesca, Zaragoza y Teruel) al oeste y Comunidad Valenciana (con la provincia de Castellón) al sur. Por su vertiente norte limita con los estados de Andorra y Francia, con sus regiones de Pirineos Centrales y Languedoc-Rosellón (que incluye el territorio catalán llamado Cataluña Norte). El este del territorio catalán está bordeado por el mar Mediterráneo. Las coordenadas de sus extremos son 3° 19' 59,94" de longitud este para el extremo oriental, 0° 9' 41,69" de longitud este para el extremo occidental, 42° 51' 45,97" de latitud norte para el extremo septentrional y 40° 31' 27,56" de latitud norte para el extremo meridional.

A grandes rasgos, se suele categorizar el territorio en tres unidades morfoestructurales generales: una unidad montañosa formada por los Pirineos, otra unidad formada por alternancia entre llanos y sub-unidades montañosas llamada Sistema Mediterráneo Catalán y una tercera unidad situada en el interior que constituye un espacio más llano, llamada Depresión Central Catalana.

- Pirineos: Los Pirineos son una cordillera que se extiende por toda la vertiente norte de Cataluña, constituyendo la base geográfica de las comarcas de el Valle de Arán, Alta Ribagorza, Pallars Sobirà, Alto Urgel, Cerdaña, Ripollés y en menor medida las de Pallars Jussà, Noguera, Solsonés, Berguedà, Garrocha y Alto Ampurdán. Es una cordillera alpina, que sigue un eje de oeste a este y separa la península Ibérica del territorio continental europeo. Se acompañan de una serie de cordilleras subsidiarias que reciben el nombre de Pre-pirineo. Los materiales primarios de sus suelos son responsables de un relieve agreste y pronunciado, acentuado por la erosión glacial. Hacia el oeste se encuentran los puntos más altos y mayor grosor norte-sur, mientras que hacia el este van perdiendo altura hasta alcanzar el Mediterráneo, en el que penetra como una extensión de la cordillera mediante el Cabo de Creus. Las sierras pre-Pirenaicas son también mayores y más profundas por el oeste que hacia el este, y constituyen una transición entre la orografía más pronunciada al norte y los llanos del sur de la Depresión Central.

- Sistema Mediterráneo Catalán: El Sistema Mediterráneo, es una alternancia de tierras bajas o llanas y sierras o cordilleras que siguen generalmente la orientación noreste-suroeste. Las cordilleras, también conocidas como Cordilleras Costero-catalanas o Cordilleras Costeras en conjunto, se configuran en subunidades conocidas como Cordillera Litoral y Cordillera Prelitoral. Este sistema se extiende por todo el litoral catalán y algunas tierras situadas más al interior, lo que implica a las comarcas de: Montsià, Bajo Ebro, el sector sureste de Terra Alta, el sector meridional de Ribera de Ebro, la mayor parte del Priorato, una pequeña porción de Garrigas que conforma las Montañas de Prades, la frontera sur de Conca de Barberà, las tres comarcas del Camp de Tarragona, las tres comarcas del Penedés, el sector más meridional de Anoia y Bages, las comarcas del Bajo Llobregat, Barcelonés, Maresme y el Vallés, el sector sur y sureste de Osona, y las comarcas gerundenses de la Selva, Gironés, Pla de l'Estany, las tierras bajas y llanos de la Garrocha y el Ampurdán. Las llanuras más destacadas las forman la Depresión Litoral, que se extiende por el Maresme, Barcelonés (Llano de Barcelona) y Bajo Llobregat (Delta del Llobregat) y la Depresión Prelitoral (Vallés, Penedés). Entre las comarcas de Tarragona destaca el llano del Campo de Tarragona y el Delta del Ebro, junto a algunas llanuras localizadas en la vertiente final del Ebro. En el área septentrional de Cataluña, destaca la Depresión de la Selva que se extiende por la comarca del mismo nombre y el Gironés y el Llano del Ampurdán.

En este sistema también se incluye la conocida como Cordillera Transversal, un conjunto de elevaciones y sierras que se localiza en el espacio de convergencia del Pre-Pirineo y la Cordillera Pre-Litoral, encerrando las llanuras de la Depresión Central Catalana del este. Se encuentra especialmente en el territorio de la Garrocha pero con sierras y extensiones en Gironés, Selva y Osona. Podría considerarse también algunas elevaciones del sector occidental del Pla de l'Estany.

- Depresión Central Catalana: La Depresión Central es una extensión de tierras con pocas estribaciones orográficas que derivan de la erosión del Ebro y sus



### 7.2.2.- Ríos

Los ríos que encontramos en Cataluña se muestran en la siguientes Tablas.

Río	Afluentes	Kilómetros
Ebro	Noguera Pallaresa	154 km
	Noguera Ribagorçana	133 Km
	Segre	265 Km

**Tabla 19.- Ríos de Cataluña.** Elaboración propia. Fuente: Enciclopedia Libre, 2007.

Río	Kilómetros
Llobregat	167 Km
Ter	167 Km
Garona	647 Km
Fluvià	70 Km
Valira	44 Km
Besòs	53 Km
Muga	58 Km
Foix	41 Km
Frankolí	60 Km
Gaià	59 Km
Tordera	55 Km

**Tabla 20.- Ríos de Cataluña.** Elaboración propia. Fuente: Enciclopedia Libre, 2007.

### 7.2.3.- Climatología

El clima de Cataluña es de tipo mediterráneo, con muchas horas de sol, suave en invierno y caluroso en verano. Los Pirineos y las zonas afines tienen clima de alta montaña, con mínimas bajo 0°C, precipitaciones anuales por encima de 1.000 mm y nieve abundante en invierno. En la costa, clima suave y templado, con temperaturas que aumentan de norte a sur, inversamente a la pluviosidad. El interior, alejado del mar, tiene un clima continental mediterráneo, con inviernos fríos y veranos muy calurosos.

Las precipitaciones presentan un patrón muy claro. El interior catalán del valle del Ebro, y hasta Lérida, es lo más seco de Cataluña. Apenas caen 400 mm anuales. Esto está relacionado con la zona seca del valle del Ebro. Entre este sector y las cadenas costero-catalanas por el este y las sierras del prepirineo por el norte, las precipitaciones continúan siendo muy bajas pero ya pueden llegar a los 500 mm anuales.

Las precipitaciones aumentan rápidamente según ascendemos por las sierras prelitorales, hasta alcanzar los 700 y los 800 mm. Una vez atravesadas las precipitaciones vuelven a disminuir hacia la costa, por debajo de los 600 mm. Hacia el Pirineo las precipitaciones continúan aumentando con la altitud hasta llegar a más de 1.200 mm en las cumbres. El valle de Arán, más abierto a los vientos del oeste, tiene siempre más de 900 mm anuales. Sin embargo, en algunos valles cerrados y a sotavento las precipitaciones pueden caer por debajo de los 600 mm; como el valle del Cardós y el entorno de la Seo de Urgel. Aparte de la cantidad total de agua que cae al año también hay que tener en cuenta la regularidad. En el Pirineo las precipitaciones tienden a ser regulares, pero se hacen más irregulares cuanto más al sur y a la costa nos desplazamos.

Aquí podemos encontrar que en unas horas llueve todas las precipitaciones del mes, particularmente en otoño. Existen casos como los de la estación de La Ametlla de Mar muy cerca del delta del Ebro, que en el mes de septiembre ha habido años que ha recogido más de 450 mm, y hasta más de 500 mm, cuando para todo el año se esperan entre 500 y 600 mm. Esta variabilidad es fruto de la intensidad de las gotas frías otoñales. No obstante, normalmente, las gotas frías hacen caer en unas horas las precipitaciones de un mes como mucho. La insolación en Cataluña es muy alta en el sector del clima mediterráneo. La irregularidad de las precipitaciones hace que sean muy pocos los días nublados.

Las temperaturas presentan un gradiente con un patrón diferente al de las precipitaciones. Las zonas más calurosas se encuentran decididamente en la costa; más extensa en el sur y el delta del Ebro. Aquí se superan los 16 °C de media anual. Desde la costa hasta el interior de Cataluña y las estribaciones de las sierras prepirenaicas las temperaturas están entre los 12 y los 16 °C, y eso a pesar de las cadenas costero-catalanas. A partir de aquí las temperaturas descienden rápidamente a medida que ganamos altura, hasta llegar a menos de 6 °C en las regiones más altas. Estas son zonas de heladas seguras en invierno y hasta en otoño. No obstante, esta distribución oculta la amplitud térmica, que es muy reducida en la costa y moderadamente amplia en el interior. Esto es muy significativo en la depresión central catalana, donde encontramos unas temperaturas medias muy similares a las de la costa pero con una amplitud térmica mucho mayor, lo que significa que tiene unos veranos más calurosos y unos inviernos más fríos. La amplitud térmica de esta región es mayor incluso que en el Pirineo, donde el régimen de clima marítimo de la costa oeste reduce los contrastes.

En Cataluña los vientos dependen de factores locales, debido a la gran cantidad de valles existentes, que orientan los vientos por los valles de los ríos, y la presencia del mar al este. El área más ventosa de Cataluña es el sur, desde Reus hasta el mar, con menos de un 20% de días sin viento. La costa es un área moderadamente ventosa. El interior de Cataluña tiene aún más días de calma que la costa, pero con puntos ventosos en las cumbres, especialmente las pirenaicas. En cuanto a la dirección del viento suele soplar del sur oeste desde Tarragona hasta la costa Brava, tanto en la zona litoral como en la prelitoral, debido a la orientación del relieve.

La tramontana de valle del Ebro también llega a Cataluña, aunque sólo sopla con fuerza en el Ampurdán, donde tiene una dirección norte. La brisa marina marca un ritmo diario, muy regular de mayo a octubre. En esta época tiene valores moderados de mar a tierra y flojos de tierra a mar, llegando incluso a haber calmas nocturnas durante los meses de julio y agosto. En los valles pirenaicos y prepirenaicos se dan vientos locales de ladera.

#### 7.2.4.- Población

Cataluña, en el censo del 2001, tenía 6.343.110 habitantes, lo que da una densidad media de  $198 \text{ h/km}^2$ , muy por encima de la media de España ( $81 \text{ h/km}^2$ ). Es la segunda comunidad autónoma más poblada de España, tras Andalucía. Gana 253.070 habitantes con respecto al censo de 1991, gracias a una tasa inmigración creciente, que tira de la tasa de natalidad. Todas las provincias ganan población. La provincia que más población gana es Barcelona (177.650 h). Tarragona gana 34.997 habitantes, Gerona gana 34.673 habitantes y Lérida gana 5.750 habitantes.

La población está muy mal repartida, aunque hay que tener en cuenta que Cataluña es una región poco dependiente de su campo, y que es una región pequeña y bien comunicada, por lo que el viaje de fin de semana dentro de la región desde las zonas más pobladas a la menos es muy habitual. Más del 55% de la población vive en una de las veintinueve ciudades con más de 50.000 habitantes; y más del 43% en ciudades de más de 100.000 habitantes. Barcelona, con 1.503.884 habitantes es la ciudad más poblada. Hay otras ocho ciudades de más de 100.000 habitantes: Hospitalet de Llobregat [l'Hospitalet de Llobregat] (239.019 h), Badalona (205.836 h), Sabadell (183.788 h), Terrasa [Terrassa] (173.775 h), Tarragona (113.129 h), Santa Coloma de Gramenet [Gramenet] (112.992 h), Lérida (112.199 h) y Mataró (106.358 h). De ellas sólo Tarragona y Lérida no están en el entorno de Barcelona. La conurbación Tarragona-Reus es el segundo foco de población de Cataluña.

Con más de 50.000 habitantes hay otras doce ciudades: Reus (89.006 h), Cornellà [Cornellà] de Llobregat (79.979 h), San Baudilio [Sant Boi] de Llobregat (78.738 h), Gerona (74.879 h), Manresa (63.981 h), El Prat de Llobregat (61.818 h), Rubí (61.159 h), San Cugat del Vallés [Sant Cugat del Vallès] (60.265 h), Viladecans (56.841 h), Villanueva y La Geltrú [Vilanova i La Geltrú] (54.230 h), Cerdanyola del Vallés [Cerdanyola del Vallès] (53.343 h) y Granollers (53.105 h). De los cuales todas las poblaciones del Llobregat y del Vallés se encuentran en el entorno de Barcelona. En el entorno de Barcelona, formando con ella casi un continuo urbano viven más de 3.500.000 de personas, superando los 2.000, y hasta los  $20.000 \text{ h/km}^2$ . El entorno de Tarragona es la otra gran área de concentración de población. Supera los  $1.000 \text{ h/km}^2$ .



Hay 520 municipios que tienen menos de 1.000 habitantes, de los cuales 399 tienen menos de 500 habitantes, sólo 30 menos de 100. Llegan a 804 los municipios que tienen menos de 5.000 habitantes. Así, frente a las grandes aglomeraciones hay auténticos despoblados con menos de 25 h/km<sup>2</sup>. Esto es el norte de Lérida; comarcas de: Valle de Arán, Alto Ribagorza, Pallars Josa, Pallars Subirá, Alto Urgel y Solsona; y también el interior de Tarragona; comarcas de: Tierra Alta, Ribera del Ebro y Priorato. Densidades de población poco más altas las tienen el resto de las comarcas pirenaicas y el interior catalán, aunque en el eje Lérida-Barcelona encontramos densidades similares a las de la costa.

Cataluña siempre ha sido una región muy poblada. Históricamente, desde que existen las series estadísticas de población, Cataluña ha ido al compás de las tasas del resto de España, lo que no quita para que encontremos diferencias entre las zonas más industriales y las agrarias, que llegan a la transición demográfica a distinto tiempo. Desde mediados del siglo XIX el área de Barcelona recibe inmigrantes de las zonas agrarias, que traen sus comportamientos demográficos, y donde la pobreza hace retrasar el descenso de las tasas de mortalidad. Así, paradójicamente, no es en las zonas más industrializadas donde antes entra la transición demográfica, sino en las de industrialización media.

La población catalana tiene fama de maltusiana. La tasa de fecundidad siempre ha estado por debajo de la media española. Esto oculta diferencias regionales. La Cataluña interior y norteña, más tradicional y católica, tenía unas tasas similares a las del resto de España, y la Cataluña litoral e industrial, con más población, sí ha tenido tasas más bajas. A partir de 1975, coincidiendo con el descenso de la fecundidad en toda España, en Cataluña estas tasas alcanzan mínimos preocupantes. Esto ha provocado un envejecimiento de la población catalana más acusado que en el resto de España.

Desde estas fechas las comarcas menos natalistas son las menos pobladas; las del interior y el norte; y las más pobladas las más natalistas. En el aumento de esta tasa influye y mucho la inmigración de mujeres jóvenes. La tasa de masculinidad en las comarcas del interior es muy alta. Esto es debido a que no hay inmigración y a que las bajas tasas de fecundidad no garantizan la renovación de la población femenina, es decir, implican un bajo índice de reproducción.

Los bajos índices de natalidad no irán acompañados de bajos índices de mortalidad, aunque sean un poco inferiores a los del resto de España. El descenso de la mortalidad se hará efectiva cuando lleguen los avances médicos efectivos, y estos llegan al mismo tiempo que al resto de España, aunque debido a la concentración de la mayor parte de la población en unas pocas comarcas se generaliza antes.

La inmigración es una de las características de la población catalana. Desde comienzos del siglo XX, y gracias al impulso industrializado, la llegada de inmigrantes, tanto regionales como extrarregionales ha sido una constante. En los años 1920 fue una inmigración masiva. Esta inmigración corrigió una tasa de natalidad anormalmente baja. El proceso de inmigración y las tasas de fecundidad, cayeron por primera vez durante la crisis de 1929 y definitivamente durante la guerra civil. Tras el plan de estabilización y el comienzo del desarrollismo la corriente inmigratoria desde el resto de España alcanza cotas récord. En esta época llegan millones de personas procedentes de Andalucía, Aragón, Murcia, Extremadura, Castilla y León, Castilla-La Mancha, Valencia, etc. En una época en la que España se convierte en un país de emigrantes Cataluña recibe millones de inmigrantes, gracias a sus altos grados de industrialización.

La importancia de la inmigración extrarregional ha ocultado la migración regional. Cataluña ha sufrido un éxodo rural tan importante como el castellano, lo que ha desequilibrado la distribución de la población catalana. No obstante, también los catalanes emigran a Europa en busca de mejores puestos de trabajo. A finales de los años 1980 el saldo migratorio era cero, incluso llegó a ser negativo, pero desde los años 1990 ha vuelto a subir. Este ascenso ha sido posible gracias a la inmigración extranjera.

### **7.2.5.- Agricultura, ganadería y pesca**

En Cataluña la agricultura tiene poco peso, poca tierra cultivada y pocos puestos de trabajo, y sin embargo es una de las regiones productoras más importantes de España. Esto es gracias a una importantísima productividad, muy por encima de la media nacional. El tamaño de las exportaciones ha sido suficientemente grande como para que sea rentable usar maquinaria de manera masiva, lo que permitió al a agricultura catalana mecanizarse rápidamente. Los productos más importantes son: los forrajes, los cereales, el olivar, el viñedo, los frutos secos, las frutas, las hortalizas, las patatas, los cultivos industriales y las legumbres.

En Cataluña la mayoría de las explotaciones son de propiedad privada y gestión directa. Sólo algunas superficies de monte, forestales y pastoriles son de propiedad comunal.

La ganadería en Cataluña es más importante que la agricultura. Es muy elevada la demanda de leche y carne. Se ha convertido en la primera productora y exportadora de cerdo y aves de España.

La principal cabaña es la porcina junto con la avícola, seguida del ovino, bovino (leche y carne), carpino y equino.

La pesca en Cataluña se ha practicado siempre, aunque ha sido una actividad secundaria. Las capturas se comercializan íntegramente en la región y en fresco, pero no recurren a la importación. Sólo cubre un 20% de la demanda. Aunque Gerona es la provincia más pesquera, el litoral levantino sus capturas son muy reducidas. Por otra parte, el litoral catalán es pobre en recursos pesqueros, cosa que además se agrava con la contaminación y la sobre explotación.

### **7.2.6.- Economía**

Cataluña es un país de recursos naturales limitados que debe su prosperidad a su situación estratégica. El sector primario es casi testimonial -apenas reúne el 3% de la fuerza laboral-, pero dotado de subsectores muy potentes que compiten en todo el mundo, como por ejemplo el cava, el vino, el ganado porcino, la fruta dulce o los derivados cárnicos.

La economía catalana ha tenido una base industrial muy importante fundamentada en la industria de transformación, inicialmente textil, pero que ha evolucionado hacia otros sectores, como el automóvil y los accesorios, la industria química, la alimentación, las construcciones navales, los muebles, etc. Cada vez es más importante también la fabricación de electrodomésticos y de material informático y telemático de última generación. Las artes gráficas y la industria editorial constituyen un sector decisivo dentro de la industria catalana, así como la construcción, cuyo crecimiento está directamente asociado al desarrollo turístico.

A esta industria, se ha añadido y a la vez se ha desarrollado, en épocas más recientes, un amplio y diversificado sector terciario, el principal en cuanto a la configuración del PIB y a la ocupación, con servicios que suponen cantidad y calidad. Destacan el turismo y los servicios que se asocian a él, así como el gran número de empresas vinculadas a la publicidad, la explotación de las nuevas tecnologías y la creación de contenido para Internet.

Por lo que se refiere al sistema financiero, destacan la centralidad y el poder de las grandes cajas de ahorro, que constituyen el núcleo del sistema financiero de Cataluña y han sido y son decisivas en la estructura del ahorro y la inversión en el país. Conjuntamente, reúnen casi el 70% de los depósitos privados catalanes. Tienen una influencia decisiva en las grandes empresas catalanas y españolas.

En la Bolsa de Barcelona, plenamente integrada en el sistema bursátil mundial, junto con el mercado de valores tradicionales, destacan el mercado de futuros y las transacciones en acciones de compañías pequeñas y medianas, en una posición muy parecida a la del United Securities Market británico o el Second Marché francés.

### **7.2.7.- Recursos Hídricos**

Las demandas de agua en Cataluña se pueden clasificar fundamentalmente en cuatro grupos. Demanda doméstica, demanda industrial, demanda de riego y demanda ramadera.

Por lo que respecta a la demanda de agua para los diferentes usos, se han adoptado los siguientes criterios distinguiendo básicamente entre demanda urbana y agrícola-ramadera como se comentará a continuación.

- La demanda de riego: Debido a la ausencia generalizada del aforo de caudales en el uso del agua para el riego y el ganadero, la demanda de estos casos se evalúa según la contabilización de superficies, cultivos y métodos de riego, por una parte, y establecimientos ramaderos y cabezas de ganado, por otro lado. En consecuencia, en el caso de la demanda de agua agrícola, esta no necesariamente coincide con los usos actuales.

- Demanda urbana: dado que la demanda urbana puede considerarse globalmente satisfecha en términos de volúmenes medianos anuales, la demanda urbana se considera igual al consumo actual, quitando los ajustes de algunas determinadas poblaciones. La demanda se evalúa en función de datos reales recopilados de forma detallada en todo el ámbito y no teniendo en cuenta dotaciones preestablecidas.

#### **7.2.7.1.- Demanda de agua total actual**

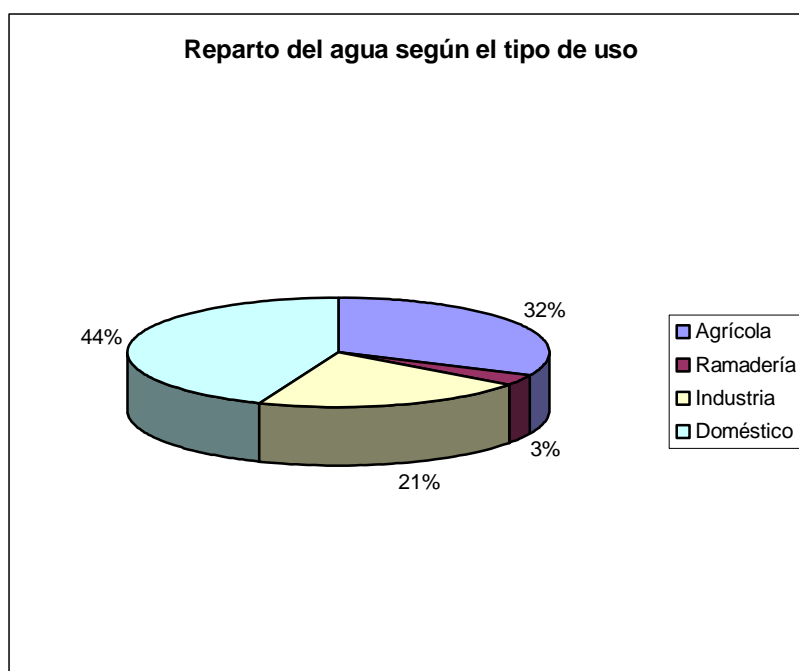
La demanda de agua total actual para todos los usos de Cataluña es de 1.186 hm<sup>3</sup>/año, equivalente a un caudal mediano diario de 3.253.000 m<sup>3</sup>/día y un caudal continuo de 37,7 m<sup>3</sup>/s. En la siguiente Tabla que resume las demandas totales en los ámbitos según usos, sucede contrariamente que el resto de cuencas hidrográficas de España, un 65% de la demanda total es urbana y sólo un 35% agrícola y ramadera, con un 32,6% para el riego.

Tipo de demanda	Volumen anual hm <sup>3</sup> /año	Porcentaje del total
Doméstica	518,8	43,7
Industrial	251,5	21,2
Urbana	770,2	65
Riego	386,5	32,6
Ramadería	29,7	2,5
Agrícola	417,2	35
<b>TOTAL</b>	<b>1.186,4</b>	<b>100</b>

**Tabla 21.-** Demanda de agua total según los usos. Elaboración propia. Fuente: ACA (Agència Catalana de l'aigua), 2007.

La demanda de agua urbana total es de 770,2 hm<sup>3</sup>/año, equivalente a un caudal mediano diario de 2.110.000 m<sup>3</sup>/día y un caudal continuo de 24,4 m<sup>3</sup>/s. Las 2/3 partes (67%) de esta demanda urbana (518,8 hm<sup>3</sup>/año) corresponde a la demanda doméstica y pública (44% del total) y una tercera parte (33%) a la demanda industrial (251,5 hm<sup>3</sup>/año), es decir, un 21% del total.

La siguiente Gráfica muestra el reparto del agua según el tipo de uso.



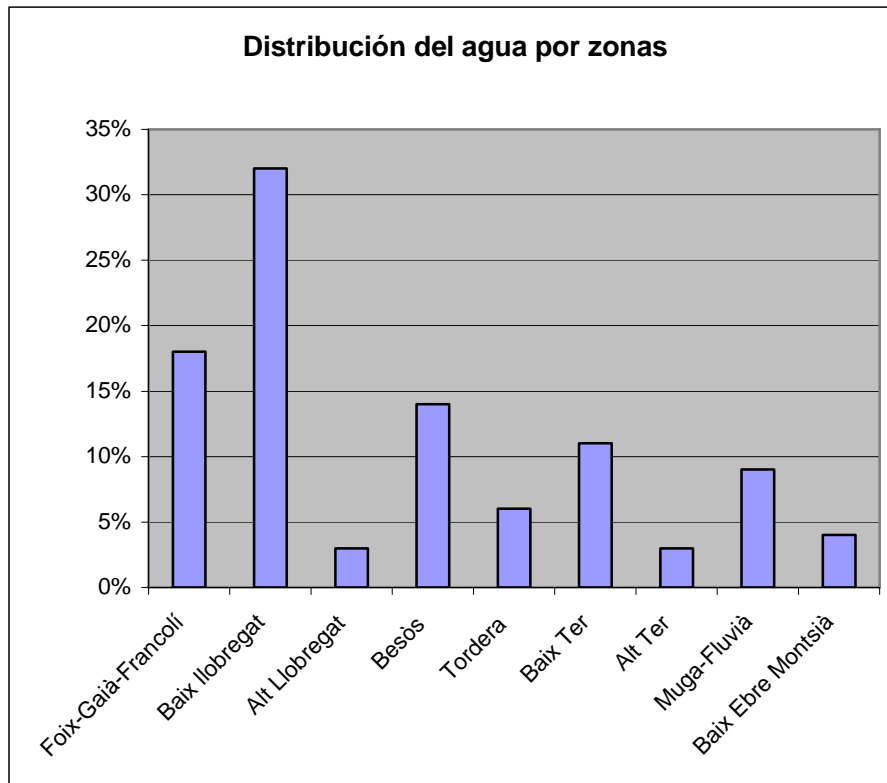
**Gráfica 22.-** Reparto del agua en Cataluña según el tipo de usos. Elaboración propia. Fuente: ACA (Agència Catalana de l'aigua), 2007.

### 7.2.7.2.- Distribución territorial del agua

La distribución de la demanda, Tabla 21 resume las cifras totales por zona hidrológica y tipo de demanda.

<b>Zona</b>	<b>POBLACIÓN media 1999</b>	<b>Demanda Doméstica hm<sup>3</sup> /año</b>	<b>Demanda Industrial hm<sup>3</sup> /año</b>	<b>Total Demanda Urbana hm<sup>3</sup> /año</b>	<b>Demanda Ramadera hm<sup>3</sup> /año</b>	<b>Demanda de Riego hm<sup>3</sup> /año</b>	<b>Demanda TOTAL hm<sup>3</sup> /año</b>
Muga- Fluvia	185.655	21.4	7.6	29.0	4.6	76.8	<b>110.4</b>
Alt Ter	138.484	11.3	11.8	23.1	6.9	1.0	<b>31.0</b>
Baix Ter	323.764	27.9	16.0	43.9	4.3	87.7	<b>135.9</b>
Tordera	298.710	28.6	22.5	51.1	0.6	18.3	<b>69.9</b>
Besós	1.302.136	109.3	37.1	146.4	1.9	18.7	<b>167.0</b>
Alt Llobregat	199.254	19.1	8.3	27.4	6.2	5.4	<b>39.0</b>
Baix Llobregat	2.868.502	245.8	97.4	343.2	1.0	26.2	<b>370.4</b>
Foix- Gaià- Francolí	631.367	51.6	47.9	99.6	4.0	113.0	<b>216.6</b>
B.Ebre- Montsià	36.855	3.7	2.8	6.5	0.3	39.5	<b>46.3</b>
<b>TOTAL</b>	<b>5.984.727</b>	<b>518.8</b>	<b>251.5</b>	<b>770.2</b>	<b>29.7</b>	<b>386.5</b>	<b>1.186.4</b>

**Tabla 21a.-** Resumen de las demandas actuales de agua en Cataluña en hm<sup>3</sup> /año. Elaboración propia. Fuente: ACA (Agència Catalana de l'aigua), 2007.



**Gráfica 23.-** Distribución del agua según zonas de Cataluña. Elaboración propia. Fuente: ACA (Agència Catalana de l'aigua), 2007.

#### 7.2.8.- Desaladoras en Cataluña

Los recursos hídricos en Cataluña son el resultado de aprovechamiento de las aguas dentro de su ciclo hidrogeológico. El origen de las aguas integrantes del ciclo hidrogeológico de Cataluña es el mar y cuencas.

En el Mar Mediterráneo la salinidad media es de 36 gr./1.000 gr. de agua. (36.000 mg. /l ó 36.000 ppm).

El estudio de alternativas de ubicación de plantas desaladoras de Cataluña determina el posible emplazamiento atendiendo a las conexiones con la red existente, suministros eléctricos, geología, medio ambiente y costes.



Las desaladoras en situación a 16 mayo de 2006 en Cataluña son las siguientes, con una totalidad de 70 hm<sup>3</sup>/año:

- Girona 10 hm<sup>3</sup>/año
- Barcelona 60 hm<sup>3</sup>/año

Actualmente funciona en Cataluña la planta desaladora de Blanes, en el delta del río Tordera (Gerona), con una capacidad de 10 hm<sup>3</sup> anuales, ampliables a una fase posterior a 20hm<sup>3</sup>/año. Y la desaladora en licitación actualmente del Prat de Llobregat y previsto puesta en marcha en el 2009, con una capacidad de 30 hm<sup>3</sup>/año ampliables a 60 hm<sup>3</sup>/año. Con lo cual a medio plazo la cantidad de agua obtenida por desalación será de 40 hm<sup>3</sup>/año ampliables a 80 hm<sup>3</sup>/año. Se trata de una instalación de nueva planta con la capacidad de producción anteriormente mencionada, para garantizar un suministro en calidad y cantidad para los municipios de la zona que se abastecen en Tossa-Lloret, Blanes y Palafolls.



**Gráfica 24.-** Costes de ejecución de las desaladoras en Cataluña. Elaboración propia. Fuente: G.O.C- obras medioambiente, 2007.

La desaladora del Prat de Llobregat se convertirá en la segunda más importante de España. El 75% del presupuesto de la obra lo cubrirá la Unión Europea y el resto, la Generalitat. Esta desaladora se instalará al lado de la depuradora de El Prat, con la que se tiene previsto que comparta las instalaciones para expulsar los residuos mar adentro.

La nueva desaladora captará el agua utilizando dos métodos.

1. Mediante una toma en el mar abierto a través de un emisario submarino de 3.000 metros.
2. Con drenajes horizontales que se instalarán sobre el fondo. Una vez trasladada a la planta, se le aplicarán reactivos y se someterá a procesos de desinfección, decantación y filtración para separar la salmuera.

Posteriormente, con el sistema de ósmosis inversa se obtendrá un 40% de agua dulce aprovechable para consumo. El 60% restante se devolverá al mar junto con la salmuera. Una estación de bombeo conducirá el agua apta hasta el depósito de Font Santa por unos conductos de 11,5 kilómetros de longitud. La desaladora garantizará los recursos hídricos y también la obtención de agua de gran calidad, equivalente a la embotellada.

Para convertir  $1\text{m}^3$  de agua salada en agua potable de calidad serán necesarios 3 kilovatios de energía, lo que hace unos años atrás se hubieran utilizado 20 kilovatios.

La desaladora de La Tordera, en el término municipal de Blanes (Gerona), se ha construido en un plazo de 10 meses y explota desde su puesta en marcha del 2002, durante un plazo previsto de 15 años.

Es la primera planta desaladora construida en Cataluña, que permite producir,  $28.000\text{ m}^3$  al día de agua potable y utiliza la tecnología de Ósmosis Inversa, la más avanzada en el tratamiento de agua capaz de eliminar más contaminantes que ninguna otra técnica y con grandes beneficios ambientales.

Esta planta de desalación atiende a una población de 150.000 habitantes y abastece a la zona de la comarca de la Selva que abarca los municipios Blanes, Palafolls, Arenys de Munt, Canet de Mar, Malgrat, Pineda, San Cebrian de Vallalta, San Iscle, San Pol de Mar, Santa Sussana, Lloret de Mar y Tossa de Mar.

El proceso químico de purificación del agua se realiza en cuatro líneas del proceso fisicoquímico conocido como ósmosis inversa. El líquido es captado del mar a través de pozos subterráneos. El tratamiento previo, que incluye la acidificación, es fundamental para eliminar la actividad biológica, las materias orgánicas y evitar la precipitación del carbonato cálcico sobre los módulos de ósmosis. A continuación, se efectúa otra filtración para eliminar las partículas en suspensión.

Una vez tratada, unas motobombas de alta presión inyectan el agua en los módulos de ósmosis inversa para provocar su desalinización, desechando una parte en forma de salmuera.

Usos del agua de la planta desaladora de La Tordera, como se ha comentado antes, esta tradicionalmente explotada para cubrir demandas de la zona, tanto para usos domésticos como usos industriales i agrícolas.

### 7.3.- Comunidad Valenciana



**Fig. 40.-** Mapa de España por autonomías, Comunidad Valenciana. Fuente: España por Autonomías, 2007.

### 7.3.1.- Geografía

La Comunidad Valenciana se encuentra en el centro este de la península ibérica. Limita al norte con Cataluña, al oeste con Aragón (Teruel) y Castilla-La Mancha (Cuenca y Albacete), al este con el mar Mediterráneo y al sur con la Región de Murcia. Existe un enclave de la Comunidad Valenciana entre Teruel y Cuenca: el rincón de Ademuz. Además, las islas Columbretes pertenecen a la provincia de Castellón. La Comunidad Valenciana tiene una superficie de 23.255 km<sup>2</sup>, y sus costas tienen una longitud total de 518 kilómetros. En el censo del 2001 tiene 4.162.776 habitantes, lo que da una densidad media de 179 h/km<sup>2</sup>, muy por encima de la media de España (81 h/km<sup>2</sup>). Se trata de la cuarta comunidad autónoma más poblada de España.



**Fig. 41.-** *Provincias de la Comunidad Valenciana.* Fuente: España por Autonomías, 2007.

### 7.3.2.- Ríos de la Comunidad Valenciana

En la siguiente Tabla se muestran los ríos más importantes de la Comunidad Valenciana.

Río	Longitud (km)	Cuenca (Km <sup>2</sup> )	Caudal Medio (m <sup>3</sup> /s)	Caudal máximo (m <sup>3</sup> /s)
Júcar	498	21.578	49,22	16.000
Segura	325	19.525	21,59	2.000
Turia	280	6.394	14,75	3.700
Mijares	156	1.028	9,06	3.000
Vinalopó	81	1.692	0,85	-
Palencia	85	911	0,20	900
Serpis	75	753	2,59	770

**Tabla 22.- Ríos de la Comunidad Valenciana.** Elaboración propia. Fuente: Enciclopedia Libre, 2007.

### 7.3.3.- Climatología

El clima dominante en la Comunidad Valenciana es el mediterráneo. La altitud, la orografía, la distancia al mar y la orientación son factores decisivos para definir las variedades climas existentes. Los centros de acción principales son el frente polar, que descarga sus masas de aire húmedas y el anticiclón de las Azores, que domina en verano. En invierno aparecen anticiclones térmicos sobre el valle del Ebro que llegan a la región y dan un tiempo seco y frío, en esta situación son frecuentes las nieblas en los valles de los ríos y en la costa. El invierno es una época, particularmente, de escasas precipitaciones debido al alejamiento de las costas atlánticas. En otoño la borrasca de mar de Liguria alimenta el fenómeno de la gota fría.

El clima está condicionado por el alejamiento del Atlántico. Las masas de aire húmedo del Atlántico llegan con dificultad, hasta el punto de que frentes activos en su viaje por la península apenas se dejan sentir en la comunidad. Sin embargo, la presencia inmediata del Mediterráneo, particularmente si está caliente, puede reactivar esos frentes. Así, vemos que la época más lluviosa en la costa valenciana es el otoño, con un

máximo secundario en primavera, sobre todo en el interior. En la costa, la gota fría del otoño es muy activa.

Las precipitaciones presentan un patrón norte-sur sólo roto por las montañas de Alcoy. Las borrascas atlánticas apenas llegan, sólo afectan seriamente a la región las que entran por el valle del Guadalquivir. Por el contrario las borrascas originadas en el Mediterráneo, como la gota fría o la borrasca del mar de Liguria generan fuertes temporales, ya que en su rotación chocan con las montañas del interior y generan episodios de fuertes precipitaciones. Así la zona más lluviosa de la comunidad es la de las cumbres de las montañas de Alcoy, porque son las que están más cerca de la costa y las que tienen un sentido más paralelo. Aquí se alcanzan los 800 mm anuales, con un gradiente muy rápido que hace descender las precipitaciones por debajo de los 400 mm a muy pocos kilómetros. Fuera de aquí la comarca más lluviosa es la del Maestrazgo, en cuyas montañas se alcanzan los 700 mm. Todo el ángulo noroccidental recoge hasta 600 mm, pero a medida que nos acercamos a la costa disminuyen las precipitaciones.

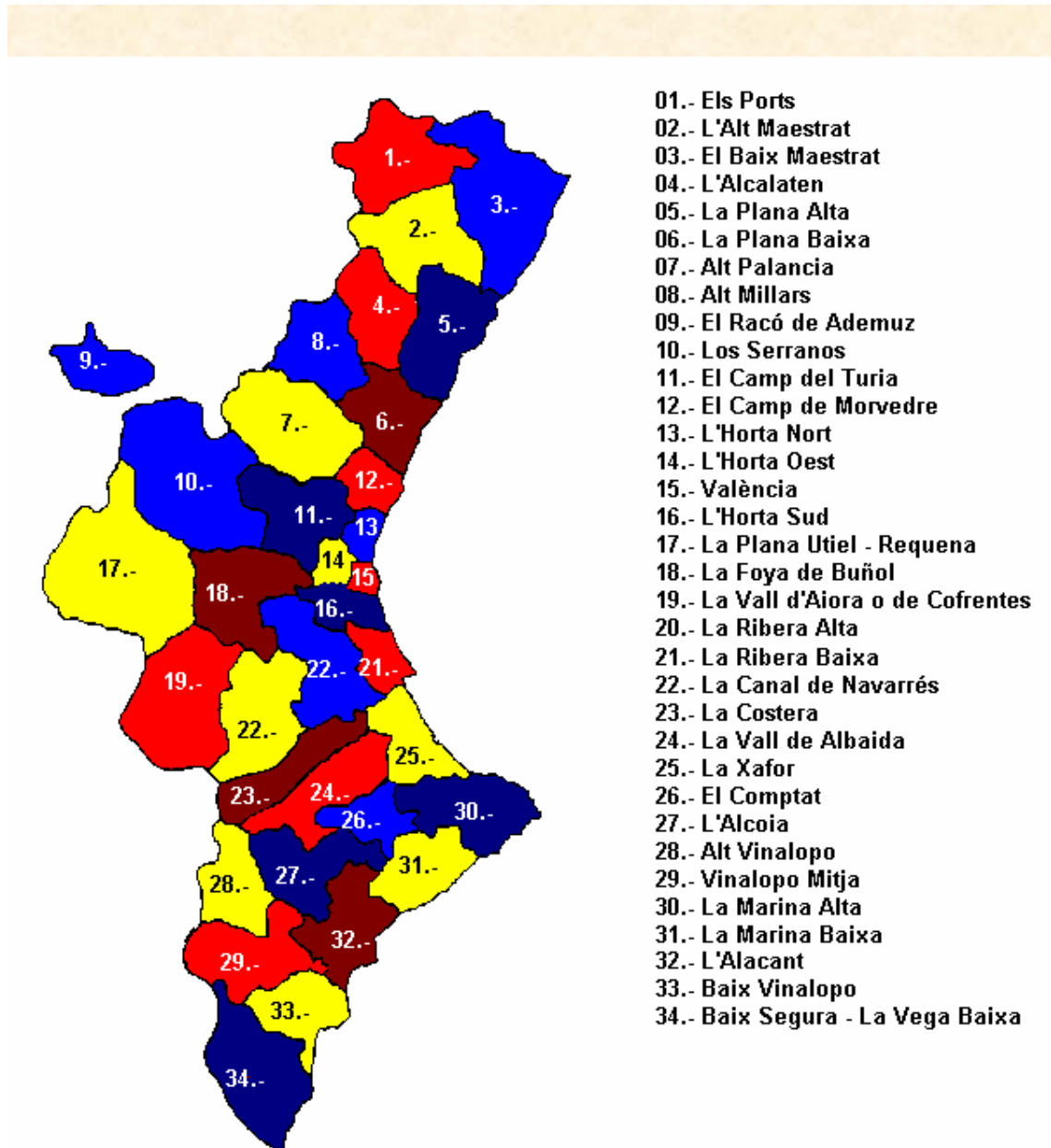
La mayor parte de la región, incluida toda la costa tiene precipitaciones por debajo de los 500 mm, y esto incluye el Rincón de Ademuz. En torno a Castellón de la Plana las precipitaciones bajan de los 400 mm, así como a lo largo del valle del Turia y la desembocadura del Palencia. Alicante es la provincia más seca. La mitad norte (grosso modo) recoge menos de 400 mm anuales, y al sur menos de 300 mm. La cuenca del Segura es la más seca.

Las temperaturas presentan un gradiente con un patrón ligeramente diferente al de las precipitaciones. Las zonas más frescas se encuentran al noroeste y en el interior. Son comarcas que no alcanzan los 10 °C de media anual, y en las que en invierno hay un período de heladas. Esto es una excepción porque en Valencia los inviernos no son fríos. A partir de aquí se observa un gradiente del interior a la costa. Las montañas del interior tiene una media de entre 12 y 14 °C, el interior de entre 14 y 16 °C y la costa de entre 16 y 18 °C debido a la acción dulcificadora del mar. En el interior de Alicante las temperaturas medias ascienden por encima de los 18 °C de media, y todo su interior está por encima de los 16 °C. En verano se alcanzan las máximas, que superan los 24-26 °C en la costa, y con muy poca oscilación térmica diaria. En el interior estas temperaturas estivales son un poco más bajas, pero la oscilación térmica es algo mayor. Las altas

temperaturas provocan un alto grado de humedad relativa que dan al clima una sensación pegajosa, que en el litoral sólo alivian las brisas marinas.

La brisa marina marca un ritmo diario, muy regular de mayo a octubre. En esta época tiene valores moderados de mar a tierra y flojos de tierra a mar, llegando incluso a haber calmas nocturnas durante los meses de julio y agosto.

#### 7.3.4.- Población



**Fig. 41a.-** Mapa de las comunidades de Valencia. Fuente: España por Autonomías, 2007.

La Comunidad Valenciana tiene, en el censo del 2001, 4.162.776 habitantes, lo que da una densidad media de  $179 \text{ h/km}^2$ , muy por encima de la media de España ( $81 \text{ h/km}^2$ ). Gana 153.447 habitantes con respecto al censo de 1991, gracias a una tasa inmigración creciente, que tira de la tasa de natalidad. Todas las provincias ganan población. La provincia que más población gana es Alicante ( $82.163 \text{ h}$ ). Valencia gana 43.445 habitantes y Castellón gana 27.839 habitantes.

La población está relativamente mal repartida. Hay una clara dicotomía entre el interior montañoso, muy poco poblado, y la costa, donde están las mayores concentraciones humanas, y se disponen a lo largo de todo el litoral. En Alicante la vega del Segura tienen densidades demográficas similares a la de la costa, repartiendo, así, la población de una manera más uniforme. Comarcas como las del Maestrazgo, Los Serranos, Los Puertos y Requena-Utiel son las que presentan menos población. Por el contrario, Valencia y su entorno acumulan casi un tercio de la población. Valencia ( $738.441 \text{ h}$ ) es la tercera ciudad más poblada de España, sólo por detrás de Madrid y Barcelona. La valenciana es una sociedad muy urbana. Casi el 80% de la población vive en núcleos de más de 10.000 habitantes.

En la Comunidad Valenciana encontramos cuatro ciudades con más de 100.000 habitantes: Valencia ( $805.304 \text{ h}$ ), Alicante [Alacant] ( $284.580 \text{ h}$ ), Elche [Elx] ( $194.767 \text{ h}$ ) y Castellón de la Plana [Castelló de la Plana] ( $147.667 \text{ h}$ ). Aunque están bien repartidas Valencia tiene más población que las demás juntas. En torno a Valencia se disponen muchos municipios con muchos habitantes. El conjunto se acerca mucho al 50% de la población. Entre estos municipios el más importante es el de Torrente que con sus 65.417 habitantes es la cuarta ciudad de la región. Existen otros ocho municipios con más de 50.000 habitantes: Torrente [Torrent] ( $65.417 \text{ h}$ ), Gandia ( $59.850 \text{ h}$ ), Alcoy [Alcoi] ( $58.358 \text{ h}$ ), Sagunto [Sagunt] ( $56.471 \text{ h}$ ), Orihuela ( $54.390 \text{ h}$ ), Benidorm ( $51.873 \text{ h}$ ), Elda ( $51.593 \text{ h}$ ) y Torrevieja ( $50.953 \text{ h}$ ).

Hay 455 municipios que tienen menos de 10.000 habitantes, de los cuales 422 tienen menos de 5.000 habitantes, 244 menos de 1.000, 148 menos de 500 y hay hasta 25 con menos de 100.

La Comunidad Valenciana siempre ha sido una región muy poblada gracias a una estructura campesina muy tupida, y ello a pesar de la expulsión de los moriscos en



1609, que afectó con especial virulencia a esta comunidad. Sin embargo, la actual distribución de la población valenciana tiene su origen en el siglo XIX y la revolución industrial. A grandes rasgos se puede decir que hasta la primera mitad del siglo XX el saldo migratorio de la región es negativo. Se da un éxodo rural, y comienza la despoblación del interior a favor de la costa y, sobre todo, Valencia. La Comunidad Valenciana entra muy pronto en los ciclos de la transición demográfica. Con el descenso de la mortalidad el campo se siente superpoblado y así comienzan los movimientos migratorios hacia las ciudades.

Durante la primera guerra mundial hubo una corriente migratoria hacia las huertas del sur de Francia y el norte de África (Argelia) provocada por que el bloqueo comercial no permitía la salida de los productos agrícolas valencianos. La emigración tendría como destino, también Barcelona y Madrid. Hasta 1950 el signo de la región era la emigración. En las comarcas del interior y las montañosas llegó a ser tan importante que superó el crecimiento vegetativo, por lo que se perdió población rápidamente, mientras que en las comarcas costeras y alicantinas el crecimiento vegetativo compensaba las salidas, por lo que la población se estancó.

Al tiempo que se producía la emigración del campo valenciano se observa una inmigración en Valencia procedentes de las provincias limítrofes (Cuenca, Albacete y Teruel). Esta inmigración se puede rastrear hasta los años 1920. Hasta 1950 sólo unas pocas comarcas incrementaron su población. La Plana de Castellón, el Campo del Turia, y el Valle de Ayora incrementaron su población en torno a un 33%; las Riberas de Júcar y La Safor en torno al 50%; las comarcas del Vinalopó, el Campo de Alicante y el Bajo Segura en torno a un 75%, y el Campo de Murviedro (Sagunto), la Huerta de Valencia con Valencia a la cabeza, pero no exclusivamente, ganaron más de un 100% de población.

A partir 1960 la Comunidad Valenciana se convierte en una región de inmigrantes, en contraste con el resto de España, que es una región de emigrantes. Llegan a trabajar en la industria personas procedentes de La Mancha, Andalucía, Extremadura y Teruel, principalmente. La mayoría de ellos se radicaron en la provincia de Valencia, tanto en la capital como en Sagunto, y en la de Castellón. En 1975 en el área metropolitana de Valencia uno de cada tres habitantes no había nacido en la Comunidad Valenciana. Sin llegar a las cifras absolutas de Valencia este fenómeno se repite en el valle del

Vinalopó, el Campo de Alicante y en La Plana de Castellón. Sin embargo, estos son, junto con algunos puntos turísticos, los únicos de la comunidad que reciben población. El resto de la región sufre un proceso de despoblación y éxodo rural en consonancia con el resto de España; origen reciente de las zonas menos pobladas del país. A finales de los años 1980 el saldo migratorio era cero, incluso llegó a ser negativo, pero desde los años 1990 ha vuelto a subir. Este ascenso ha sido posible gracias a la inmigración extranjera.

La tasa de fecundidad valenciana siempre ha estado un poco por encima de la media española. Esto oculta diferencias regionales, ya que en el campo siempre han sido más altas que en los núcleos urbanos, que han tenido un comportamiento más maltusiano. A partir de 1975, coincidiendo con el descenso de la fecundidad en toda España, estas tasas alcanzan mínimos preocupantes. Esto ha provocado un envejecimiento de la población valenciana más acusado que en el resto de España. Desde estas fechas las comarcas menos natalistas son las menos pobladas, y las que tienen un índice de masculinidad mayor. Hay que tener en cuenta la inmigración de mujeres jóvenes. En la actualidad la inmigración extranjera al campo valenciano ha disparado la presencia de mujeres en él por lo que ha vuelto a subir la tasa de fecundidad de por encima de la media.

La tasa de mortalidad ha seguido el mismo ciclo que en el resto de España. El descenso de la mortalidad se hará efectiva cuando lleguen los avances médicos efectivos, y estos llegan al mismo tiempo que al resto de España.

### **7.3.5.- Agricultura, ganadería y pesca**

En la Comunidad Valenciana la agricultura tiene un peso pequeño, pero no deja de ser una de las agriculturas más rentables de España y Europa. Esto es gracias a la exportación y significa que tienen una agroalimentaria potente y una necesidad de transporte de primer orden que hace que si sumamos las actividades indirectas que genera la agricultura valenciana esta tenga un peso notable en la economía regional. Hasta el 60% de la producción se exporta a países extranjeros.

Tiene tres paisajes agrarios: los regadíos del litoral, los secanos arbolados de las tierras medias y los viñedos de las mesetas y valles interiores.

La explotación forestal tiene poca importancia económica, aunque se dedica a ella cerca de un 40% de la superficie de la región, localizada mayoritariamente, en las comarcas montañosas. El bosque autóctono ha sufrido importantes ataques antrópicos, por lo que las principales especies forestales son los pinos de repoblación y los chopos en las riberas de los ríos.

La ganadería es modesta. La ganadería extensiva prácticamente ha desaparecido. Sólo podemos encontrarla en las comarcas más despobladas del interior de Castellón y Valencia. La ganadería ha perdido importancia con respecto a la agricultura. La principal ganadería es la porcina que supone más del valor de la ganadería. A continuación se encuentra el ovino, seguida del bovino, caprino y equino.

La distribución de la ganadería es muy irregular. El ganado bovino predomina en las comarcas de montaña, asociada a prados más húmedos. También se encuentran en las comarcas más despobladas la ganadería de porcino, por su alto riesgo contaminante. Y no muy lejos de las ciudades o de las principales vías de comunicación, encontramos granjas intensivas.

La pesca en la Comunidad Valenciana se ha practicado siempre, aunque ha sido una actividad secundaria. Los 518 km de costa son pobres en peces, y más los últimos años, en que se ha esquilado el fondo marino. Las capturas se comercializan íntegramente en la región y en fresco, pero no alcanzan y se ha de recurrir a la importación. No obstante, en todos los puertos de la costa hay una pequeña actividad pesquera. El banco pesquero más importante es el de las islas Columbretes, donde se pesca sardina, boquerón, salmonete y crustáceos. Otro banco interesante es el que se encuentra frente a las costas alicantinas, aunque muestra claros signos de agotamiento. Aquí se recoge bacaladilla, sardina, salmonete y pescadilla.

La flota pesquera es artesanal, con pocos barcos, pequeños y de carácter familiar. Los mayores puertos pesqueros son los de Santa Pola, Alicante, Vinaroz, Castellón de la Plana, Villajoyosa, Altea, Denia, Torrevieja, Gandía, Sagunto y Borriana. De todas

maneras todos ellos son de poca entidad. Además, parte de las capturas se desembarcan en puertos andaluces.

Las artes más utilizadas son el arrastre y el cerco, pero la flota está compuesta por barcos pequeños y de carácter familiar. También se usa el termall, que consiste en una pequeña red que se hunde unos 5 o 10 metros de profundidad. Es, pues, un arte de superficie. Artes milenarias como las almadrabas se han abandonado definitivamente.

Si la pesca está en clara recesión la agricultura está en clara expansión, sin embargo aún queda mucho por desarrollar para que llegue a ser una actividad importante.

### **7.3.6.- Economía**

La Comunidad Valenciana conforma un territorio alargado, con una orografía abrupta e irregular que ha dificultado históricamente las comunicaciones y el aprovechamiento del suelo, y sólo el eje litoral ha facilitado la conexión con Europa, bien por vía marítima a través del Mediterráneo, o bien por vía terrestre a través de Cataluña. Con un clima mediterráneo y un régimen de lluvias escasas, los recursos naturales del territorio valenciano son escasos en lo que respecta a los minerales. En recursos hídricos hay una demanda de agua superior a la oferta, y este desequilibrio es especialmente grave en las comarcas valencianas del sur, que se resuelve de momento con restricciones y con la explotación de acuíferos subterráneos.

En el año 2002 la Comunidad Valenciana generó el 10'5% del PIB estatal y el 12% de sus exportaciones. En recursos humanos, la tasa de desempleo se situaba en el 10'5%, siendo mayor en las mujeres, y la tasa de actividad alcanzó en el año 2002 el 56'8%. El modelo empresarial valenciano característico son las PYMEs (pequeñas y medianas empresas), principalmente de tipo familiar, aunque hay algunas multinacionales. A pesar de la crisis económica sufrida entre 1973 y 1985, actualmente es la segunda autonomía exportadora del Estado, con un 12%.

### **7.3.7.- Recursos hídricos**

En la Comunidad Valenciana las aguas subterráneas constituyen la fase más importante del ciclo hidrológico y, a su vez, son las que más intensamente se explotan. Con ellas se abastece a una parte muy importante de los usos residenciales e industriales, al margen de su empleo para el riego de un elevado número de hectáreas de cultivo, bien directamente o de forma mixta con otras aguas superficiales.

La no utilización racional del agua subterránea produce problemas como la sobreexplotación de los acuíferos, afecciones negativas a ríos y manantiales, y la degradación de su calidad, entre otros.

En consecuencia, se hace necesario preservar la riqueza de los recursos hídricos subterráneos, tanto en volumen como en calidad. Una medida al respecto sería la incorporación a los procesos de decisión en el ámbito de la ordenación territorial de variables relacionadas con la calidad y disponibilidad del agua.

La Comunidad Valenciana es una de las regiones españolas en las que el agua constituye un factor limitante del desarrollo social y económico, y en la que la fase subterránea del ciclo hidrológico alcanza una mayor importancia cuantitativa, con unos recursos renovables cuantificados en 2.000 hm<sup>3</sup>/año; de hecho, las aguas subterráneas abastecen al 62% de las demandas para usos urbanos y el 80% de las de usos industriales. Con ellas se riegan más de 116.000 hectáreas de cultivo; y, en régimen mixto con las aguas superficiales, se abastecen otras 54.000 hectáreas. Para abastecer a estas demandas se utilizan anualmente 1.500 hm<sup>3</sup> de agua que equivalen a un caudal continuo de 48 metros cúbicos por segundo.

Ante estas circunstancias, cualquier acción que contribuya a preservar la riqueza representada por los recursos hídricos subterráneos tiene plena justificación.

La Valenciana es la comunidad autónoma española donde mayor importancia cuantitativa adquiere la fase subterránea del ciclo hidrológico y donde más intensamente se explotan las aguas subterráneas. La mayor parte del territorio valenciano pertenece a

la Cuenca Hidrográfica del Júcar, que es a su vez la cuenca que mayor explotación cuantitativa de aguas subterráneas.

El 60% de la superficie de la Comunidad está ocupada por afloramientos muy permeables y sólo el 15% por materiales con permeabilidades extraordinariamente bajas.

Se estima que la infiltración directa del agua de lluvia hasta las capas profundas del subsuelo alcanza un valor medio de unos 1.600 hm<sup>3</sup>/año y que la recarga adicional inducida por riego puede llegar a los 400 hm<sup>3</sup>/año.

El aprovechamiento de aguas subterráneas por bombeo asciende a unos 1.500 hm<sup>3</sup>/año lo que equivale a un caudal continuo de 48 m<sup>3</sup>/seg. El grueso de los aprovechamientos referidos se localiza en las Planas de Valencia y Castellón (200 hm<sup>3</sup>/año), Xeresa-Gandia-Dénia, en el Campo de Llíria (hasta la traza de la acequia de Moncada), en la Plana de Vinaròs-Peñíscola y en el conjunto de los acuíferos alicantinos (superior a 250 hm<sup>3</sup>/año). Con estas extracciones se riegan unas 116.000 hectáreas de manera directa y otras 54.000 en régimen mixto (aguas superficiales y subterráneas); se atienden el 62% de las necesidades de abastecimiento urbano (excepto área metropolitana de Valencia y núcleos costeros alicantinos al sur del Campello) con un volumen próximo a los 225 hm<sup>3</sup>/año.

La siguiente Tabla muestra la clasificación de la accesibilidad a los recursos hídricos en la Comunidad Valenciana.

<b>Disponibilidad Recursos</b>	<b>Calidad Recursos</b>	<b>Rendimiento Captación</b>	<b>Altura de Elevación</b>	<b>Accesibilidad Territorial</b>
Cauces permanentes. Acuíferos regional	Agua potable	> 5 l/s/m	< 100m	Acceso existente
Cauces semipermeables. Acuíferos locales colgados	Agua Excepcional	0,1-5 l/s/m	100-200 m	Sin acceso. Zona alomada
Cauces estaminales. Acuíferos colgados muy reducidos (< 1km <sup>2</sup> )	Salobre	0,01-0,1 l/s/m	200-350 m	Sin acceso actual. Zona abrupta
Sin cauces/sin acuíferos. Acuíferos fósiles. Aguas congénitas	Salina	< 0,01 l/s/m	> 350 m	Sin acceso actual. Zona muy abrupta

**Tabla 23.-** Clasificación de la accesibilidad a los recursos hídricos en la Comunidad Valenciana. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2004.

### 7.3.8.- Desaladoras en la Comunidad Valenciana

Las desaladoras en situación a 16 mayo de 2006 en la Comunidad Valenciana son las siguientes, con una totalidad de 198 hm<sup>3</sup>/año:

- Ampliación Alicante I (Alicante)
- Alicante II (Alicante)
- Torreveja (Alicante)
- Denia (Alicante)
- Campillo/Mutxamel (Alicante)
- Vega Baja (Alicante)
- Javea (Alicante)

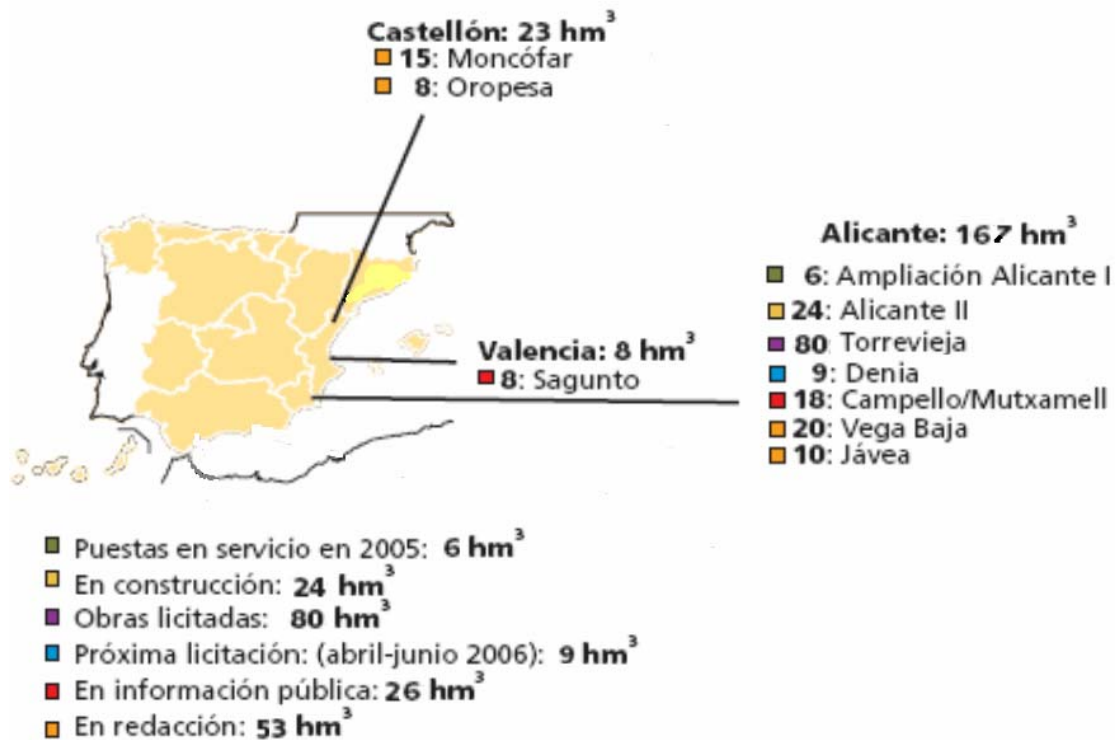
- Sagunto (Valencia)
- Moncófar (Castellón)
- Oropesa (Castellón)

La siguiente Tabla muestra las desaladoras en la Comunidad Valenciana (Castellón, Valencia y Alicante) y sus respectivos  $\text{hm}^3/\text{año}$  desalados.

Desaladoras	$\text{hm}^3/\text{año}$ de agua desalada
Ampliación Alicante I	6
Alicante II	24
Torre Vieja	80
Denia	9
Campillo	18
Vega Baja	20
Javea	10
Sagunto	8
Moncófar	15
Oropesa	8
<b>TOTAL <math>\text{hm}^3/\text{año}</math></b>	<b>198</b>

**Tabla 24.-** Desaladoras en la Comunidad Valenciana con sus respectivos  $\text{hm}^3/\text{año}$  desalados.  
Elaboración propia. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente 16 mayo, 2006.





**Fig. 42.- Estado ejecución de las plantas desalinizadoras en la cuenca mediterránea. Comunidad Valenciana.** Elaboración propia. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, Programa A.G.U.A. 16 mayo, 2006.

### 7.3.8.1.- Desaladoras de Alicante

A continuación se explicarán las desaladoras que están puestas en servicio, en construcción, obras licitadas, en información pública o en redacción de Alicante.

#### 7.3.8.1.1- Desaladora de Alicante (funcionando desde 2002, 18 hm<sup>3</sup> al año)

La desaladora de agua marina del Canal de Alicante trabaja a plena capacidad, proporcionando diariamente 50 millones de litros de agua potable al a red de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla. Un caudal que se benefician directamente más de 600.000 personas que residen en Alicante, Elche, Santa Pola y san Vicente de Raspeig, municipios adscritos. Además, los 18 hm<sup>3</sup> al año de agua desalada que aporta esta planta, construida por el Ministerio de Medio Ambiente, permiten liberar un volumen equivalente que se puede repartir entre un amplia zona del sureste español.

Hay que tener presente que la Mancomunidad de los Canales del Taibilla, organismo autónomo del Ministerio de Medio Ambiente, es la responsable del suministro de agua de boca a una población de unos millones de habitantes (aumenta en verano hasta alcanzar fácilmente los tres millones) diseminados por 77 municipios de Alicante (32), Murcia (43) y Albacete (2), un amplio territorio que supera los 11.000 km<sup>2</sup>, pertenecientes al ámbito de dos cuencas hidrográficas (Segura y Júcar). Esta amplia zona del sureste español padece una gran escasez de agua, que se ha visto agravada por la sequía del río Taibilla. Los recursos hídricos que en la actualidad nutren la Mancomunidad provienen de ese río y del trasvase Tajo-Segura.

En esta infraestructura hidráulica, en la que se han invertido 52,6 millones de euros, financiados en un 85% por la Unión Europea, contribuye al abastecimiento de la población.

Esta desaladora del Canal de Alicante, ubicada en el paraje de Aguamarga, en el término municipal de Alicante junto a la carretera N-332- emplea tecnológicamente la ósmosis inversa.

Esta planta desaladora está diseñada para producir 50.000 m<sup>3</sup> de agua potable al día, capta el agua del mar a través de una red de 18 pozos costeros, desde donde se eleva a las instalaciones. Antes de entrar en la planta, el caudal recibe un primer tratamiento que garantiza las condiciones óptimas del agua de alimentación a los bastidores de ósmosis inversa (membranas), tanto desde el punto de vista de sus propiedades físicas como químicas. En la planta de Alicante debido a la buena calidad del agua de toma (en su captación a través de pozos el terreno actúa como filtro natural), el acondicionamiento necesario es mínimo. No obstante, por motivos de seguridad, la planta incluye varias etapas que someten el agua a un proceso de desinfección y coagulación con el fin de agrupar las partículas en suspensión que se encuentran en el agua marina, además de pasar por unas piscinas con lecho de arena que actúa de filtro para retener dichas partículas.

Para realizar el proceso de ósmosis inversa se cuenta con siete bastidores de membranas –con una capacidad de producción unitaria de 7.200 metros cúbicos de agua al día y otros tantos grupos de alta presión -un grupo por bastidor- para suministro y

posterior recuperación de energía que se encargan de separar la sal del agua. A partir de ahí, el caudal ya desalado se somete a un postratamiento para que cumpla con todos los requisitos establecidos para las aguas de consumo humano por la normativa vigente.

Básicamente consiste en la remineralización del agua para incremento del pH, mediante la dosificación de hidróxido cálcico; y en la dosificación de hipoclorito sódico para mantener los niveles adecuados de desinfectante residual. Finalmente, una vez desalado y apta para su consumo humano, el caudal se impulsa a través de una conducción de 22 kilómetros hasta un depósito regulador ubicado en las proximidades de Elche, para su posterior entrega a los canales del Taibilla. Realizado en hormigón armado, dispone de dos cámaras de 25.000 metros cúbicos cada una, para facilitar las correspondientes tareas de mantenimiento.

Por otro lado, el agua de rechazo que resulta del proceso –con una elevada concentración de sales-, llamada también "salmuera", es conducida a un punto de la costa situado a un kilómetro de la desaladora, conocido como la cala de los Borrachos, donde se vierte al mar. En el caso de la planta de Alicante, este polémico residuo –su eliminación es uno de los inconvenientes que plantean estas instalaciones, junto con su elevado consumo energético-, no supone peligro alguno para Así se ha determinado después de un estudio realizado por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), en colaboración con la Universidad de Alicante y otras instituciones científicas, que fija que el incremento de salinidad provocado por el agua de rechazo desaparece a unos 1200 metros de distancia de la costa. Existe, por tanto, una distancia de seguridad importante para proteger la Posidonia oceánica, cuyas primeras matas aparecen a 1.600 metros y las praderas a más de 2.100 metros. Esta fanerógama marina, endémica del mar Mediterráneo, es una especie protegida por la legislación europea y española debido a su alto valor ecológico.

Además de contribuir a fijar la arena de las playas y oxigenar el agua de mar, las praderas de posidonias albergan una elevada productividad biológica, ya que constituyen el hábitat de cría y alevinaje de numerosas especies. La planta será gestionada y explotada por un periodo de 15 años por una unión temporal de empresas (UTE) constituida por Ferrovial y Necso, junto con sus respectivas filiales de

tratamiento de agua, Cadagua e Infilco, adjudicataria de la concesión del Ministerio de Medio Ambiente.

Como dato curioso, se han adoptado una serie de medidas para un menor impacto en el entorno de la desaladora, entre las que cabe destacar la colocación de cerramientos especiales de forma que en el exterior de las instalaciones no puedan apreciarse niveles sonoros por encima de los habituales. Además junto a una cuidada solución arquitectónica que intenta reducir el impacto visual del complejo.

**7.3.8.1.2.- Desaladora Ampliación Alicante I (Canal de Alicante I)** (puesta en servicio desde 2005, 6 hm<sup>3</sup> más al año)

La desaladora de Alicante I (ampliación) esta puesta en servicio desde 2005. Esta desaladora se incluye dentro de la actuación “Ampliación de la desaladora de la Mancomunidad de los Canales de Taibilla en Alicante” (puesta en marcha desde el 2003), contemplada entre las Prioritarias y Urgentes del Real Decreto Ley 2/2004.

Dicha información pública es el trámite previo a la declaración de impacto ambiental, en la que se determinan las condiciones que deben establecerse para la adecuada protección del medio ambiente y los recursos naturales.

La ampliación de la desaladora del Canal de Alicante I responde al concepto +Agua para un desarrollo+sostenible del Programa A.G.U.A., ya que incluirá todas las obras e instalaciones precisas para incrementar la producción de 18-24 hm<sup>3</sup>/año, y contribuirá a garantizar, junto con el resto de las actuaciones de desalación previstas, el abastecimiento actual y futuro de una población estable superior a 2.200.000 habitantes, que en época estival supera los 3.000.000 de habitantes.

La ampliación propuesta es la toma adicional de agua mediante una batería de 11 pozos situados en la zona de servidumbre de protección del dominio público marítimo-terrestre, y el incremento de producción de agua desalada se consigue mediante la instalación de dentro de la nave de proceso actual de un filtro de seguridad y dos nuevas

líneas de producción, con sus correspondientes grupos turbo-bombas y bastidores de membranas de ósmosis inversa.

Se instalan, asimismo, dos nuevos grupos moto-bombas para la impulsión hacia el Canal de Alicante del agua desalada producida. Se han proyectado, a unos 180 metros al Norte de la Cala de los Borrachos, las obras de captación de agua de mar y su impulsión hasta la actual obra de vertido, para conseguir una dilución previa no inferior a 2 partes de agua de mar y 1 parte del agua de rechazo, tanto de la desaladora actual ampliada como de la nueva a construir en sus inmediaciones.

El presupuesto total de las obras e instalaciones proyectadas supera los 18 millones de euros.

El objetivo de esta ampliación es garantizar y complementar las demandas de agua potable de las ciudades de Elche y la zona costera del Gran Alacant-Santa Pola, ampliando la capacidad de producción de la desaladora actual de los 50.000 m<sup>3</sup>/día hasta los 65.000 m<sup>3</sup>/día, apta para el consumo humano.

El alto consumo de energía eléctrica de esta desaladora, hace que haya un alto precio en agua desalada, lo que implica que ésta no pueda ser destinada para el regadío.

#### **7.3.8.1.3.- Desaladora de alicante II (en construcción, 24 hm<sup>3</sup> al año)**

Por un importe de 68.558.997,49 euros y un plazo de ejecución de 20 meses, la nueva desalinizadora del Canal de Alicante (Alicante II) se sitúa en las inmediaciones de la actual, en el término municipal de Alicante e incluye las obras e instalaciones precisas para aportar al sistema hidráulico de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla un volumen anual de 24 hm<sup>3</sup> de agua desalinizada.

La toma de agua de mar se realiza mediante 65 drenes oblicuos de una longitud media de 25 metros, ejecutados desde un túnel paralelo a la línea de costa de 1 km de longitud y sección abovedada de 4 x 4,5 metros, conectados a un pozo de bombeo hasta

la planta desalinizadora. Se realiza el vertido diluido al mar del agua de rechazo (salmuera) mediante conexión a la conducción de vertido de la desalinizadora actual.

El agua desalinizada es aportada al Canal de Alicante a través de una conducción de impulsión de 9 km de longitud, y se construye un nuevo depósito de reserva para el abastecimiento de Alicante y San Vicente del Raspeig de 100.000 m<sup>3</sup> de capacidad, en cuya cubierta se instalarán 17.000 m<sup>2</sup> de paneles fotovoltaicos, obteniéndose del orden de un 2 por ciento del consumo energético total de la planta.

#### **7.3.8.1.4.- Desaladora de Denia** (en próxima licitación, 6 hm<sup>3</sup> al año)

La infraestructura de esta desaladora y de las obras complementarias de Denia (Alicante), está recogida en la actuación de la Ley 11/2005, 22 de junio, por la que se modificó la Ley 10/2001, de 5 de Junio, del Plan Hidrológico Nacional (PHN), por lo que la construcción está declarada como una actuación de interés general, prioritaria y urgente.

La ejecución de la obra enmarcada en el 'Proyecto Informativo de Desalación y obras complementarias para la Marina Alta' la realizará la sociedad estatal Aguas de las Cuencas Mediterráneas (Acuamed) y beneficiará a los términos municipales de la provincia de Alicante de Denia, El Verger y Ondara.

Esta planta desaladora de agua de mar o marina por ósmosis inversa que producirá La desaladora de Denia tendrá una producción de 24.000 m<sup>3</sup>/día en cuatro líneas de 6 hm<sup>3</sup>/año cada una.

Además, la planta quedará preparada para su ampliación futura en tres líneas más de producción de 6 hectómetros cúbicos diarios cada una, según indicaron las mismas fuentes. La línea de tratamiento de la futura desaladora consta de los procesos de captación mediante toma directa, bombeo del agua de mar a la planta, planta de tratamiento -pretratamiento físico-químico, ósmosis inversa, postratamiento, estación de bombeo de agua tratada para conexión con red de abastecimiento-, evacuación de la salmuera de rechazo y servicios auxiliares.

Por último, la salmuera generada en la planta se transportará a un depósito de dilución con agua de mar, situado en el dique norte del puerto de Dénia con el objetivo de verterlo después en este puerto. Con este método se favorece la renovación del agua y no afecta a las praderas de fanerógamas localizadas en el exterior del puerto, según han indicado las fuentes de la CHJ (Confederación Hidrográfica del Júcar).

#### **7.3.8.1.5.- Desaladora de Torrevieja**

La desaladora de Torrevieja (obra licitada), que será la de mayor producción de Europa, por un importe total estimado en 297 millones de euros. Situada junto a la carretera CV-95 cerca de un nuevo hospital.

La planta de Torrevieja será la más grande del mundo, con una capacidad de producción 240.000 m<sup>3</sup>/día y 80 hm<sup>3</sup>/año. De esta cantidad anual, 40 hm<sup>3</sup>/año irán destinados al riego y 40 hm<sup>3</sup>/año al abastecimiento de los municipios de Murcia y Alicante.

El proyecto, incluye la construcción de la planta desaladora, su obra de toma y vertido y las conducciones necesarias para transportar el agua hasta puntos de entrega previstos en Canal de Campo (Cartagena), el embalse de la Pedrera y el depósito de la mancomunidad de los Canales de Taibilla.

La obra concedida por Aguas de las Cuencas Mediterráneas (Acuamed), forma parte del programa A.G.U.A. del ministerio de Medio Ambiente y tiene un plazo total de ejecución previsible de 22 meses con un periodo de operación y mantenimiento de 15 años. Se tiene previsto la puesta en marcha de la planta en el 2008 principios del 2009.

La planta se ubicará en las proximidades de la estación depuradora de aguas residuales que hay en la zona y que actualmente está en fase de ampliación.

El proyecto de esta desaladora incluirá innovadores criterios de eficiencia energética y será pionera en el tratamiento arquitectónico, bioclimático y de integración paisajística.

#### **7.3.8.1.6.- Desaladora Campillo/Mutxamel (en información pública, 18 hm<sup>3</sup>/año)**

Esta planta desaladora aportará nuevos recursos mediante la desalación de agua de mar, liberando recursos subterráneos de acuíferos sobre explotados. Se contemplan dos soluciones para las obras de desalación. En una de las soluciones la planta queda ubicada en el término de El Campillo, y en la otra en el término de Mutxamel. Cada solución ha sido desarrollada en un proyecto informativo, con su correspondiente Estudio de Impacto Ambiental. Tras la valoración de los resultados de información pública y de los condicionantes impuestos por la Declaración de Impacto Ambiental, se adoptará la solución a desarrollar.

La actuación “desalación y obras complementarias para la Marina-Baja-Alicante” afecta a los términos municipales de El Campillo, Mutxamel y San Juan de Alicante, en Alicante.

El objetivo del proyecto de esta planta es la definición y valoración de las obras de una planta desaladora de agua de mar por ósmosis inversa, con una capacidad de producción de 50.000 metros cúbicos diarios en cinco líneas de producción de 10.000 metros cúbicos diarios cada una. La planta quedará preparada para la ampliación futura de tres líneas más de producción de 10.000 metros cúbicos diarios cada una.

La línea de tratamiento consta de los siguientes procesos: captación mediante toma directa, bombeo del agua de mar a la planta, planta de tratamiento (pretratamiento físico-químico, ósmosis inversa, postratamiento, estación de bombeo de agua tratada para conexión con red de abastecimiento), evacuación de la salmuera de rechazo y servicios auxiliares.



#### 7.3.8.1.7.- Otras desaladoras en Alicante

- **Desaladora de Vega/Baja** (en redacción, 20 hm<sup>3</sup>/año)

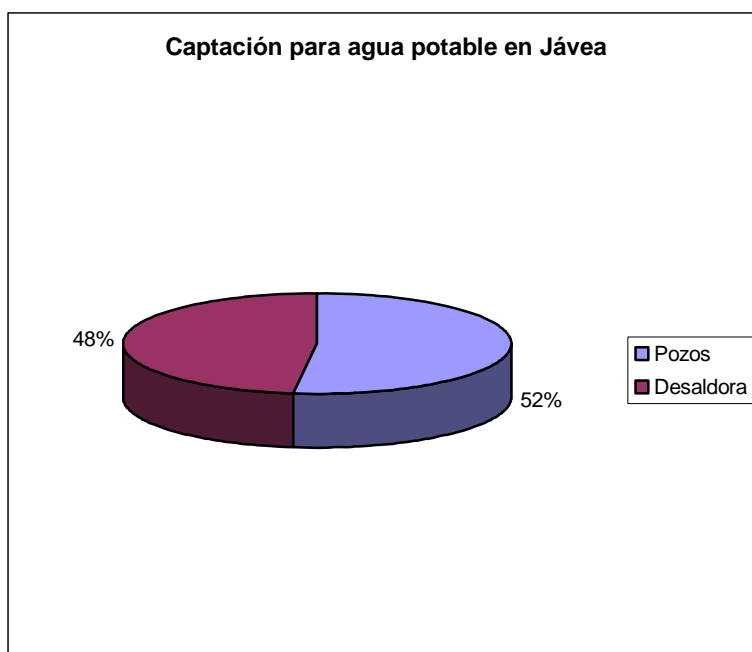
Esta desaladora utilizará la tecnología de ósmosis inversa y hará la captación de agua del mar.

- **Desaladora de Javea** (en redacción 2006, 10 hm<sup>3</sup>/año)

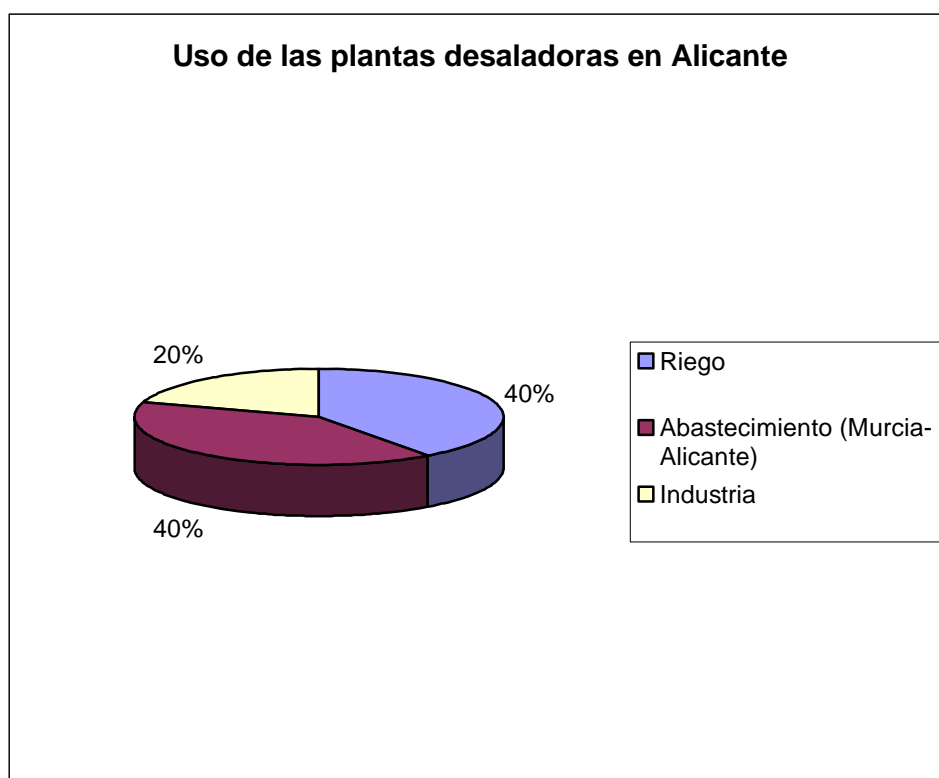
La desaladora de Javea, captará agua del mar y utilizará la tecnología por ósmosis inversa.

La UE financia con 600 millones la desaladora de Javea. El conseller de Obras Públicas, José Ramón García Antón ha destacado que la desaladora de Javea, que entrará definitivamente en funcionamiento a lo largo del próximo año, garantizará el suministro de agua en este municipio alicantino donde los problemas de abastecimiento pasan fundamentalmente por la calidad de aguas.

La siguiente gráfica muestra la situación de la captación de agua en Javea.



**Gráfica 25.-** *Porcentaje de captación para agua potable en Javea.* Elaboración propia.  
Fuente: Toda la información que necesita sobre Javea, 2007.



**Gráfica 26.-** *Uso de las plantas desaladoras en Alicante.* Elaboración propia. Fuente: Acuamed (Aguas de las cuencas mediterráneas), 2006.

La siguiente tabla muestra un ejemplo de las entidades más importantes de riego en Alicante.

Entidad de Riego	Superficie (Has.)	Caudal 1/seg.	Hm <sup>3</sup> /año	Eliminación Salmuera
Agrícola del Mediterráneo	177	20	0.63	Drenaje-mar
C.R. Río Nacimiento	300	50	1.58	Directo-mar
C.R. Torre Miguel	1600	50	1.58	Directo-mar
C.R. Campo Salinas	2000	100	3.15	Emisario-Jacarrilla
C.R. Santo Domingo	1900	60	1.89	Emisario-Jacarrilla
C.R. San Miguel	1530	100	3.15	Emisario-Jacarrilla
<b>TOTALES</b>	<b>7507</b>	<b>380</b>	<b>12</b>	

**Tabla 25.-** *Entidades de riego de agua desalada.* Elaboración propia. Fuente: Aumento recursos de agua, Cipriano Juárez, 1995.

### **7.3.8.2.- Desaladoras de Castellón**

Ambas desaladoras que están en Castellón, Moncófar y Oropesa, a fechas de 16 de mayo de 2006, información del Ministerio de Medio ambiente, están en información pública.

#### **7.3.8.2.1.- Desaladora de Moncófar** (en información pública, 15 hm<sup>3</sup>/año)

Acuamed (Aguas de las cuencas mediterráneas) y el Ayuntamiento de Moncofa suscriben el convenio para la financiación y explotación de esta planta, la cual tendrá un abastecimiento de 32.000 m<sup>3</sup>/día.

Supondrá una inversión en torno a los 40 millones de euros y será financiada, en un 20%, con Fondos Europeos.

Su puesta en servicio permitirá resolver definitivamente los problemas de abastecimiento actuales y futuros del sector sur de la Plana Baixa.

Con la nueva planta desaladora los habitantes de Moncofar tendrán garantizado el suministro y dispondrán en el futuro de un agua de más calidad. El proyecto abastecerá a la población, dejando de recurrir a la sobreexplotación del acuífero, dando además solución a un problema pendiente en los últimos años, que es la evacuación de salmueras de otras plantas de ósmosis en la comarca.

Este proyecto se incluye en la actuación “Desarrollo de programas de aguas subterráneas y desalación en la provincia de Castellón”. Esta actuación recogida en la Ley 11/2005, de 22 de junio, por la que se modificó la Ley 10/2001, de 5 de junio, general, prioritaria y urgente, ha sido encomendada a la sociedad estatal Aguas de las Cuencas Mediterráneas S.A. ACUAMED , por el Ministerio de Medio Ambiente.

El proyecto contempla la construcción de una desaladora de agua de mar por ósmosis inversa con una capacidad de producción de 32.000 m<sup>3</sup>/día. Esta planta abastecerá al sector sur de la Plana Baja de Castellón.

El proyecto incluye, además de la propia planta desalinizadora, las obras de toma de agua de mar y su conducción a planta, las acometidas eléctricas, las conducciones de distribución del agua producida para la totalidad de la capacidad de producción y el salmueroducto comarcal.

No obstante, la instalación de los equipos electromecánicos y bastidores de ósmosis inversa se realizará de manera progresiva de manera que se adecue la capacidad de producción instalada en cada momento a la evolución de la demanda en la zona de influencia del proyecto, gracias al carácter modular de este tipo de infraestructuras.

Tanto el sistema de desalación como la configuración y distribución de las líneas de tratamiento se diseñarán para optimizar el rendimiento de agua desalada y el consumo energético de la misma.

El proyecto incluye así mismo las conducciones necesarias para incorporar al sistema de evacuación de salmuera de la planta el rechazo de plantas de ósmosis sitas en Nules y Vall d'Uxó. De esta manera contribuye a la mejora de la gestión de las aguas salobres en el sur de la comarca de la Plana de Castellón, con el consiguiente beneficio medioambiental.

A partir de la entrada en explotación, la duración del convenio será de 25 años.

Además del 20 por ciento de subvención comunitaria, la infraestructura, que supondrá una inversión de unos 40 millones de euros, será financiada en su totalidad por ACUAMED, tanto con fondos propios como del mercado financiero.

#### **7.3.8.2.2.- Desaladora de Oropesa (en información pública, 8 hm<sup>3</sup>/año)**

La «Desaladora de Oropesa del Mar y sus obras complementarias», incluida en la actuación de «Desarrollo de programas para captación de aguas subterráneas y desalación para abastecimiento y regadíos en Castellón», está declarada de interés general y de ejecución prioritaria y urgente por la Ley 11/2005, de 22 de junio, por la que se modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional.

Esta planta desaladora de agua de mar por ósmosis inversa, como sus correspondientes conducciones de distribución se construirán para satisfacer el incremento de la demanda que se producirá en Oropesa y Cabanes a corto y medio plazo. La capacidad de instalación es de 65.000 m<sup>3</sup>/día en una primera fase con 8 líneas de producción, ampliable a 130.000 m<sup>3</sup>/diarios en una segunda fase.

El proyecto informativo prevé las obras de toma de agua de mar, las conducciones de agua bruta a planta, el sistema de evacuación de la salmuera de rechazo y las acometidas eléctricas para el caudal máximo en 2.<sup>a</sup> fase. El equipamiento electromecánico corresponde a la 1.<sup>a</sup> fase reducida a 6 líneas, que permite una mejor acomodación inicial de la capacidad de producción a la demanda.

Tanto el sistema de desalación como la configuración y distribución de las líneas de tratamiento se han diseñado para optimizar el rendimiento de agua desalada y al mismo tiempo permitir un aprovechamiento energético en la misma planta, utilizando el agua de rechazo a alta presión para crear energía eléctrica que reduzca los costes eléctricos.

La línea de tratamiento consta de los siguientes procesos: captación mediante toma directa, bombeo del agua de mar a la planta, planta de tratamiento (pretratamiento físico-químico, ósmosis inversa, postratamiento, y bombeo a los diferentes puntos de consumo), evacuación de la salmuera de rechazo mediante emisario submarino con batería de difusores y servicios auxiliares.

El proyecto y su estudio de impacto podrán consultarse en el plazo de 20 días desde su publicación en el BOE. En este tiempo se podrán presentar las alegaciones pertinentes. Los interesados podrán consultar la documentación correspondiente en la Confederación Hidrográfica del Júcar en Valencia, así como en las oficinas de Acuamed en la capital del Turia. Además, todas las alegaciones se deberán dirigir a la CHJ (Confederación Hidrográfica del Júcar).

### **7.3.8.3.- Desaladora de Valencia**

La única desaladora de Valencia a fecha de 16 de mayo de 2006, información del Ministerio de Medio ambiente, está en información pública.

#### **7.3.8.3.1.- Desaladora de Sagunto** (en información pública, 8 hm<sup>3</sup>/año)

El objetivo de esta del proyecto informativo es la definición y valoración de las obras, encomendadas a la sociedad estatal ACUAMED, de una planta desaladora de agua de mar por ósmosis inversa, para satisfacer el incremento de la demanda que se producirá en Sagunto a corto y medio plazo como consecuencia de su desarrollo industrial. La planta tiene una capacidad de producción de 22.900 m<sup>3</sup>/diarios distribuidos en tres líneas de producción cada una de 7.633 m<sup>3</sup>/diarios.

La planta se sitúa en las proximidades de la central de ciclo combinado de Unión Fenosa que se encuentra en estos momentos en construcción. El dimensionamiento de las infraestructuras de captación y vertido de la propia central permite que sean aprovechadas para las funciones de captación y el vertido de la nueva desaladora, optimizando así las infraestructuras existentes y racionalizando la inversión.

Este proyecto, que afecta al término municipal de Sagunto, fue declarado de interés general por la Ley 10/2001, de 5 de julio, a través de la modificación de ésta introducida en el punto decimonoveno del artículo único de la Ley 11/2005 de 22 de junio. Del mismo modo ha sido incluido como actuación prioritaria y urgente tanto en el Real Decreto Ley 2/2004, de 18 de junio, como en dicha Ley 11/2005.

Se ha diseñado un sistema de desalinización compuesto por dos etapas de tratamiento, con el fin de mejorar el rendimiento de agua desalada y al mismo tiempo permitir un aprovechamiento energético en la misma planta, utilizando el agua de rechazo a alta presión para crear energía eléctrica que reduzca el consumo y los costes eléctricos.

La línea de tratamiento consta de los siguientes procesos: captación mediante toma directa (utilizando las infraestructuras de Unión Fenosa Generación), bombeo del agua de mar a la planta, instalación de tratamiento (pretratamiento físico-químico, ósmosis inversa, postratamiento, y bombeo hasta depósito de almacenamiento de 24.500 metros cúbicos), evacuación de la salmuera de rechazo (a través de las infraestructuras de Unión Fenosa Generación) y servicios auxiliares.

La planta se ubicará en las proximidades de la zona portuaria de Sagunto, junto a la planta de ciclo combinado de Unión Fenosa, con la cual compartirá parte de las nuevas infraestructuras.

#### 7.4.- Murcia



**Fig. 43.-** Mapa de España por autonomías, Murcia. Fuente: España por Autonomías, 2007.

##### 7.4.1.- Geografía

La Región de Murcia se encuentra en el sureste de la península ibérica. Limita al norte con la Comunidad Valenciana (Alicante) y Castilla-La Mancha (Albacete), al oeste con Andalucía (Granada), al este con el mar Mediterráneo y al sur con Andalucía (Almería). La Región de Murcia tiene una superficie de 11.313 km<sup>2</sup>, y sus costas tienen una longitud total de 274 kilómetros.

La Región de Murcia comprende una sola provincia: Murcia. Se convirtió en comunidad autónoma el 9 de junio de 1982. La capital de la comunidad autónoma es Murcia.

El territorio murciano se organiza en torno a la depresión prelitoral murciana. Se trata de un amplio valle que recorre la región de suroeste a noreste, y se extiende a las provincias de Almería y Alicante. En realidad es el surco más amplio de las hoyas intrabéticas. Esta depresión acoge a dos grandes ríos, el Segura y el Vinalopó; aunque es



el Segura el que organiza la región. Ambos ríos se convierten en las comunicaciones naturales con la meseta.

Las cumbres no son muy importantes, ya que se corresponden con las estribaciones de las Béticas. Las mayores elevaciones son: Revolcadores (2.001 m), Los Odres (1.877 m), Villafuerte (1.750 m), Calar Blanco (1.678 m), San Juan (1.699 m), Espuña (1.579 m), Selva (1.525 m) y en menor medida El Gigante (1.493 m), Cambrón (1.446 m), El Carche (1.371 m), la Pila (1.261 m), Almiraz (1.126 m), Almaces (1.124 m).

En Murcia la presencia de las Béticas corresponde a sus estribaciones orientales. Comprenden dos dominios básicos, el prebético y el subbético, ambos formados por materiales mesozoicos y terciarios no metamórficos. Estos materiales fueron afectados por la orogenia alpina y formaron pliegues.

La zona prebética ocupa la parte norte de la región. Se trata de una suave línea ondulada que va desde Nerpio, al noroeste, pasaría por Caravaca, Cieza, el corredor de las ramblas del Moro y de la Raja, para penetrar en Alicante. Más al norte, por Jumilla, encontramos sierras como las de Carche, El Buey, El Serral, La Magdalena, Cingla, De las Cabras, El Molar, El Picacho, La Cabeza del Asno, El Puerto, El Algaidón, El Cerezo, Los Álamos, y El Zacatín. Todas estas sierras, en general, presentan pliegues directos, amplios y anchos. Tiene una dirección estructural NNE-SSO. Se componen de calizas y margas, de facies continental, aunque hacia el sur se vuelve marina.

La zona subbética ocupa la parte central de la región. Su estructura es más compleja. Presenta mantos de corrimiento y afloramientos volcánicos, como en Cabezos Negros de Abarán, Peña Negra de Blanca y Cabezos del Cortijo del Llano de Calasparra. En la zona subyace el macizo antiguo, sobre el que se apoyan calizas, margas y arcillas del Jurásico, el Cretácico y el Paleógeno. Se caracteriza por los pliegues complicados: cabalgamientos, mantos de corrimiento, escamas, etc. A este conjunto pertenecen las sierras de La Pila, Ricote, Molino, Quípar, Burete, Mojantes, Revolcadores, Lavia, Ceperos, Ponce, Cambrón, Almiraz y El Gigante. Podemos distinguir tres unidades, el Subbético externo, el Subbético medio y el Subbético interno. El Subbético externo es el que entra en contacto con la zona prebética. El Subbético medio se encuentra al sur del anterior y es, esencialmente, calizo. El Subbético interno, más al sur, presenta series

metamórficas de origen marino, y entre ellas afloramientos de rocas volcánicas (Mazarrón, Barqueros, Cartagena, La Unión, Lorca, etc.).

Entre ellas distinguimos tres complejos, uno con rocas metamórficas muy deformadas. El segundo, un poco más al sur, presenta paquetes de calizas, dolomías y micaesquistos muy potentes, junto con el material volcánico. El tercero es el del manto de Málaga, y está formado por calizas, dolomías y areniscas. En este conjunto encontramos las sierras de La Torrecilla, Tercia y Espuña; las de alineación prelitoral, con sierras como las de Enmedio, Alporchones, Carrascoy, Puerto de la Cadena y Cresta del Gallo; y las sierras costeras de La Carrasquilla, La Almenara, Las Moreras, Algarrobo La Muela, y Cartagena. Estas sierras pertenecerían al dominio bético en sentido estricto.

Entre estas estructuras elevadas se insertan las cubetas, depresiones y corredores que se han comportado como cuencas sedimentarias con episodios marinos y continentales alternativamente. Se encuentran colmatadas por materiales del Neógeno y del Cuaternario. Son arcillas, margas, yesos, areniscas y conglomerados, mayoritariamente. Destacan las cuencas de Cieza, Mula, Abanilla y Fortuna, y Campo de Cartagena y Mar Menor.

Las costas murcianas son muy variadas. Encontramos costas bajas, en las que predominan las aguas someras, y costas acantiladas, en las que la profundidad alcanza más de cinco metros muy próximas a la costa. Las costas bajas se corresponden con las regiones llanas del litoral valenciano, en las que encontramos las zonas pantanosas y las marismas. Están formadas por largas playas o cordones de gravas. Es el caso de los tramos Benicarló a Peñíscola (Peñíscola), Alcocebre (Alcossebre) a Oropesa, y el de Almazora al barranco de Carraixet (en los límites de Valencia). No obstante, estos tramos se hallan interrumpidos por espigones artificiales. Desde el barranco de Carraixet hasta el marjal de Pego hay una playa de arena fina sólo interrumpida por el cabo de Cullera. Son las playas correspondientes a la Albufera, que en las partes ya colmatadas dan origen a formaciones dunares.

La plataforma continental es muy estrecha. Apenas supera los 30 km entre El Mojón y el cabo de Palos, que es el tramo más ancho. Este es, además, el tramo de costa baja, arenosa y típicamente sedimentaria. Aquí se encuentra el Mar Menor. Desde el cabo de

Palos hasta Cala Cerrada predomina la costa acantilada, en la que se insertan regularmente profundas calas que alojan puertos importantes como los de Cartagena, Mazarrón y Águilas. Las sierras litorales, de una altitud media de unos 500 metros, forman un murallón casi continuo.

El Mar Menor es la unidad morfológica más característica de la costa murciana. En realidad se trata de una marisma. En tiempos se llamó la albufera del cabo de Palos, y es que eso es en realidad. Si no se considera hoy en día una marisma es porque la barra que debe cerrar el lago del Mediterráneo no está totalmente cerrada, y la salinidad en el interior es muy alta. Su génesis es similar a la de todas las marismas. Está separada del mar por una doble barra arenosa (restinga), conocida como la manga del Mar Menor y comunicada por diversos canales. No obstante, parte de esta barra de separación está formada por afloramientos volcánicos. Está en pleno proceso de colmatación, tanto de forma natural como por la aceleración que implica su explotación antrópica. El Mar Menor tiene unos 21 km de largo por 10 de ancho, una superficie de unos 180 km<sup>2</sup> y una profundidad máxima de siete metros.

La manga del Mar Menor tiene una longitud de unos 24 km y una anchura que oscila entre los 900 y los 100 metros. El Mar Menor no recibe aportes hídricos de importancia, de ahí su carácter sobresalado. Además tiene una evaporación muy intensa. Si aún no se ha desecado es por los aportes que recibe del Mediterráneo a través de sus canales (golas): Ventorrillo, El Charco, El Estacio y Marchamalo. Estos canales se están manteniendo abiertos artificialmente. Particularmente el canal de El Estacio ha sido ensanchado y dragado para permitir el intercambio de agua. Esto ha permitido bajar la salinidad y la temperatura del lago, y ha modificado las corrientes internas. El lago está siendo colmatado por las actividades agrarias y la construcción de ámbitos urbanos y playas, que se suman a la colmatación natural. El carácter cerrado y urbano del lago hace que se presente con altos grados de contaminación, tanto por agentes agrícolas como industriales y residuos urbanos. Su uso recreativo y turístico ha hecho del Mar Menor una de las áreas más degradadas de la región.

#### 7.4.2.- Ríos

El territorio murciano reparte sus aguas entre dos cuencas hidrográficas, una, la del Segura, estructura la mayor parte de la región. La otra son pequeños ríos o ramblas que corren directamente desde las sierras litorales al mar. Entre estas últimas son de reseñar las ramblas del Albujón, la principal que desemboca en el Mar Menor, La Maraña, La Guía que es la de Cartagena, Las Moreras, Pastrana, Ramonete y Charcón, entre otras.

El río Segura es el segundo en longitud (341 km) de los que desembocan en el Mediterráneo. Nace en la sierra de Segura (Jaén) y desemboca por Guardamar del Segura (Alicante). Tiene 18.254 km<sup>2</sup> y drena una media de 1.100 hm<sup>3</sup>/año. Tras su breve paso por Andalucía y Albacete queda represado en el embalse del Cenajo, cuya pared hace de límite entre Albacete y Murcia. Aquí el Segura se encaja y hace de frontera entre las dos provincias, hasta que recibe por la izquierda la río Mundo, momento en el cual el Segura se hace murciano. El río Mundo trae las aguas del trasvase Tajo-Segura desde el embalse de Talave. En Calasparra el Segura toma dirección este, recorre una zona llana y se vuelve meandriforme, hasta llegar a Cieza. En Cieza se adapta a una falla de dirección sureste. Aquí se encuentra el embalse de Ojos, desde donde se distribuyen las aguas que trae el Segura para la huerta murciana. Así llega hasta Alcantarilla, tras pasar por Archena, donde toma dirección este para dirigirse a Murcia. Poco después de Beniel entra en Alicante.

En la Región de Murcia el Segura recibe importantes afluentes. La mayoría de estos afluentes son por la derecha, ya que aquí se encuentran las montañas béticas. Los más importantes son: el Murtas; el Moratalla; el Argos, que pasa por Caravaca de la Cruz, Cehegín y Calasparra; el Quípar; el Mula, que pasa por Mula, y recoge las aguas de las vertientes norte de las sierras del Cambrón y Espuña; y el Sangonera, en cuyo primer tramo se llama Guadalentín y nace en la en la sierra norte de Almería, recoge las aguas de la vertiente sur de la sierra de Espuña, el Cambrón y Puerto Lumbreras. El río pasa por Lorca y se adapta a una fractura que le lleva desembocar en el Segura pasada Murcia.

Los afluentes murcianos por la izquierda más importantes son: el barranco del Judío, que pasa por Jumilla y la rambla del Moro. Son, pues, ríos intermitentes. Las ramblas del entorno de Yecla se pierden al poco de nacer.

En la Región de Murcia no encontramos muchos lagos pero aquí se encuentra el lago natural más grande de España: el Mar Menor. Lo demás son pantanos, numerosos pantanos en el cauce de todos los ríos, esenciales para el riego de la huerta.

Las aguas subterráneas tienen gran importancia, ya que aunque son de mala calidad se convierten en decisivas para la agricultura. Los acuíferos sufren de sobreexplotación que pone en peligro su existencia.

#### **7.4.3.- Climatología**

El clima dominante en la Región de Murcia es el mediterráneo. No obstante, la costa y hacia el sur, a sotavento de las montañas béticas, se da el clima subtropical seco. Es una de las regiones más secas de España y se prologa por Almería. Se trata un clima seco, menos de 300 mm, y caluroso. Las precipitaciones son muy irregulares. La amplitud térmica diaria es moderada, pero la anual es muy pequeña. La altitud, la orografía, la distancia al mar y la orientación son factores decisivos para definir las variedades climas existentes. Los centros de acción principales son el frente polar, que descarga sus masas de aire húmedas y el anticiclón de las Azores, que domina no sólo en verano sino durante la mayor parte de año. La Región de Murcia está, por su latitud, al borde del clima mediterráneo y del clima subtropical seco. Así, el frente polar afecta a la región en raras ocasiones; muy entrado el invierno. En invierno aparecen anticiclones térmicos sobre La Mancha que llegan a la región y dan un tiempo seco y frío. En otoño la gota fría es un meteoro frecuente y activo, aunque no tanto como un poco más al norte, ya que el aire frío en altura tiene ciertas dificultades para llegar hasta la región. En verano la borrasca sahariana trae masas de aire cálido con gran cantidad de polvo en suspensión.

La topografía es decisiva para explicar la variedad climática murciana. El efecto barrera sólo actúa en las montañas cuando soplan los vientos húmedos de levante. En este caso se provocan lluvias. El efecto foehn (efecto barrera) es crucial en la región ya que encontrase a sotavento de los vientos dominantes del oeste, de llegar muy secos después del paso por toda la península, son los responsables de la extrema sequedad del

clima murciano. La diferencia de altitud entre la meseta y la costa es modesta, pero lo suficiente para activar el efecto foehn.

La lejanía del Atlántico hace que las masas de aire húmedo del Atlántico apenas lleguen a la región, hasta el punto de que frentes activos en su viaje por la península apenas se dejan sentir en la comunidad. Sin embargo, la presencia inmediata del Mediterráneo, particularmente si está caliente, puede reactivar esos frentes. Así, vemos que la época más lluviosa en la costa valenciana es el otoño, con un máximo secundario en primavera, sobre todo en el interior. En la costa, la gota fría del otoño es muy activa.

Las precipitaciones presentan un patrón este-oeste muy marcado. El máximo se encuentra en las sierras occidentales y no supera los 700 mm anuales. Desde aquí las lluvias descienden rápidamente hacia el valle, sólo rota por la singularidad de sierra España. Las regiones más secas son las del interior al norte y en la costa sur, donde no se alcanzan los 300 mm anuales. La mayor parte de la región está entre los 300 y los 400 mm anuales. Es, pues, un clima muy seco. Las precipitaciones se concentran en otoño y primavera. Encontramos hasta cinco meses áridos, de mayo a septiembre. Incluso el mes de marzo, e incluso el de febrero, pueden ser áridos. En otoño la gota fría provocan fuertes temporales, ya que en su rotación chocan con las montañas del interior y generan episodios de fuertes precipitaciones.

Las temperaturas presentan un gradiente con un patrón muy similar al de las precipitaciones. Las zonas más frescas se encuentran al oeste y en el interior. Son comarcas que no alcanzan los 14 °C de media anual, pero en las que en invierno apenas hay un período de heladas. Esto es una excepción porque en Murcia los inviernos no son fríos. A continuación se encuentra una franja que incluye todo el interior de la región con temperaturas medias anuales entre 40 y 16 °C. Desde aquí a la costa la temperatura asciende hasta los 18 °C. Sólo en la cuenca baja del Segura se superan los 18 °C. Se trata, pues, de una región muy cálida, particularmente en verano. En esta época las altas temperaturas provocan un alto grado de humedad relativa que dan al clima una sensación pegajosa, que en el litoral sólo alivian las brisas marinas.

Vientos en la región no suelen ser fuertes, debido a las montañas. Los más constantes se sitúan en la costa (brisas marinas) y sobre todo en las zonas de San Javier y Cartagena. No obstante, los vientos del oeste de la circulación general están presentes con un cierto componente norte, ya que entran tras atravesar Castilla-La Mancha.

La Región de Murcia es uno de los países con más insolación de España. Apenas durante 70 días al año se ven los cielos cubiertos por nubes. El mes más soleado es julio, tanto por la ausencia de nubes como por la larga duración de los días, y el de menos diciembre.

La humedad relativa en la Región de Murcia presenta grandes contrastes regionales, no así anuales. En la costa la humedad media se mantiene entre el 71 y el 76%, mientras que en el interior puede variar entre el 52 y el 63%. Es muy significativo que en la costa el mínimo se alcanza en invierno y el máximo en verano, mientras que en el interior el mínimo se alcanza en verano y el máximo en invierno.

El conjunto de estos valores dan a la región un fuerte índice de evapotranspiración que supone un permanente déficit de agua. Sólo las áreas montañosas y sierra España tienen valores más equilibrados.

#### **7.4.4.- Población**

Murcia cuenta con 416.996 habitantes (INE 2006) siendo el séptimo municipio español por población. Sin embargo, debido a la gran extensión de su término municipal, su densidad demográfica (472 hab./km<sup>2</sup>) la aleja de los primeros puestos españoles.

La población está relativamente bien repartida, aunque hay una clara dicotomía entre el interior montañoso y Jumilla, y las riberas del Segura y la costa del mar Menor, donde están las mayores concentraciones humanas.

La murciana es una sociedad muy urbana. Más del 52% de la población vive en núcleos de más de 50.000 habitantes: Murcia (370.745 h), Cartagena (184.686 h) y Lorca (77.477 h). Más del 92% vive en poblaciones de más de 10.000 habitantes; hasta

27 municipios. Tan sólo nueve municipios tienen menos de 5.000 habitantes: Librilla (3.925 h), Pliego (3.413 h), Campos del Río (2.046 h), Villanueva del Río Segura (1.572 h), Ricote (1.556 h), Albudeite (1.368 h), Aledo (1.017 h), Ulea (970 h) y Ojós (579 h).

Las densidades de población más altas se alcanzan en Murcia en cuyas inmediaciones se encuentran Alcantarilla (34.303 h) y Molina de Segura (46.905 h). El conjunto suma más del 37% de la población.

La Región de Murcia siempre ha sido una región muy poblada gracias a una estructura campesina muy tupida, y ello a pesar de la expulsión de los moriscos en 1609, que afectó mucho a esta comunidad. La actual distribución de la población murciana tiene su origen en el mantenimiento de una actividad agraria que se ha ido modernizando, y en el turismo.

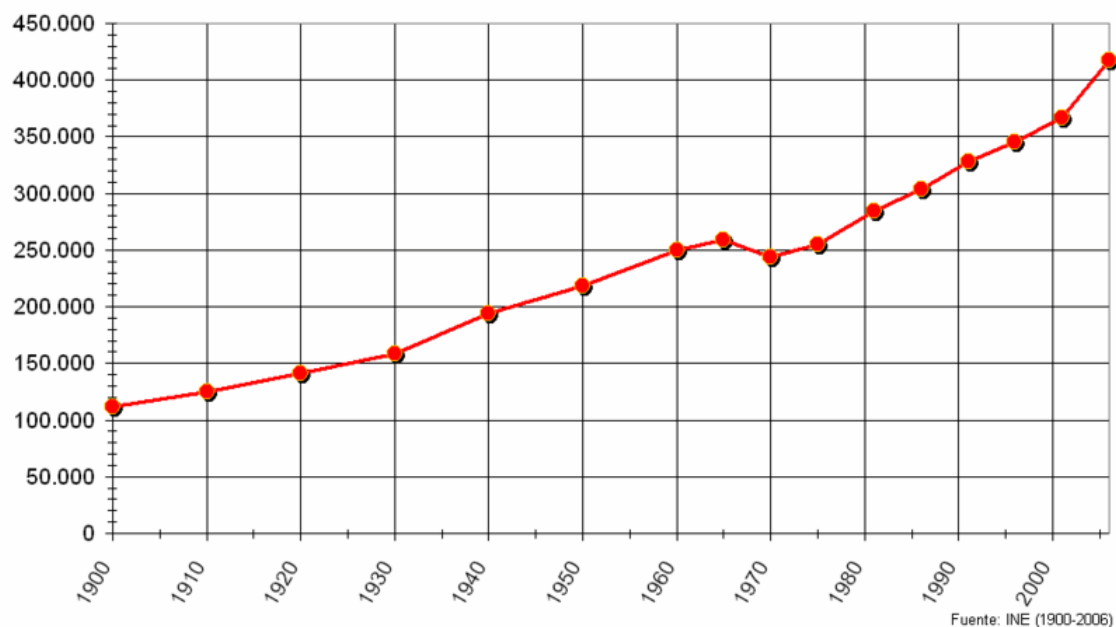
Desde la década de 1940 las tasas de natalidad murcianas siempre han estado por encima de la media nacional, y eso a pesar de su drástica reducción, en consonancia con la tendencia del resto de España.

Las tasas de mortalidad, especialmente las de mortalidad infantil, han caído en la misma medida que las del resto de España. Esta circunstancia ha hecho que Murcia sea la región con mayor crecimiento vegetativo de España, y sin embargo su crecimiento real no ha estado en consonancia con este incremento hasta la década de 1970. En Murcia la cuestión de la emigración y la inmigración lleva presente todo el siglo.

Murcia ha sido una región de emigración hasta la década de 1970. En esta fecha la emigración se detiene debido a la crisis de la emigración a Europa y al impulso de turismo, que ofrece, de repente, gran número de puestos de trabajo. El pico más alto de emigración se produce justo en la década anterior, con destino a Francia, Alemania, Suiza y al resto de España (Madrid, Valencia y Cataluña).

A partir de 1976 las migraciones cambian de signo y Murcia se convierte en receptora de inmigrantes. Hasta mediados de los años 1980 el motor de esta inmigración era el turismo, pero tras la entrada de España en la Unión Europea, y la transformación de la agricultura hacia unas explotaciones más productivas el motor de esta inmigración es la agricultura. En los años 1990 llegan a la región decenas de miles de inmigrantes de baja cualificación dispuestos a trabajar en el campo.





**Gráfica 27.-** Evolución demográfica de Murcia. Fuente: INE (Instituto Nacional de Estadística, 2006).

Evolución demográfica del municipio de Murcia							
	1857	1887	1900	1910	1920	1930	1940
Población	89.314	98.538	111.539	125.057	141.175	158.724	193.731
	1950	1960	1970	1981	1991	2000	2005
Población	218.375	249.738	243.759	288.631	338.250	357.166	409.810

**Tabla 26.-** Población del municipio de Murcia 1857-2005. Elaboración propia. Fuente: INE (Instituto Nacional de Estadística), 2006.

#### **7.4.5.- Agricultura, ganadería y pesca**

La agricultura en Murcia ha ido bajando desde 1975, a partir de 1985 volvió a subir ese porcentaje. Se trata de una de las agriculturas más rentables de España y de Europa. Esto se debe a una importantísima productividad, muy por encima de la media nacional. Estamos ante una agricultura orientada a la exportación, y eso significa el desarrollo de la industria agroalimentaria potente y una necesidad de transporte de primer orden que hace que si sumamos las actividades indirectas que genera la agricultura esta tenga un peso notable en la economía regional.

En la actualidad la agricultura murciana está dominada por el regadío. Desde los años 1960 se han hecho ingentes esfuerzos para que así sea. Se riegan más de 170.000 hectáreas localizadas en el valle del Segura, el del Guadalentín (municipios de Lorca, Totana, Alhama y Librilla), y del Campo de Cartagena. No obstante, en toda la región encontramos, de forma discontinua, pequeños sectores de regadío. Antes del regadío la región murciana es fundamentalmente un país cerealista y forrajero, y, secundariamente, arbolado; tras la llegada del riego los árboles de cítricos se convierten en mayoritarios y comienza el crecimiento de la producción hortícola. La expansión del regadío conlleva un proceso paralelo de urbanización, que ha dado un paisaje de ruralurbanización muy característico. Esto hace que más del 40% de la superficie regional está dedicada a usos no agrícolas.

A parte de los cultivos de regadío tradicionales, en la actualidad tiempos han aparecido otros al calor de las nuevas técnicas de cultivo y la demanda de los mercados. Recordemos que la agricultura, en la actualidad tiene como destino, íntegramente, el mercado. Muchos de ellos se cultivan en invernadero, o bajo plástico. En conjunto, los cultivos actuales de Murcia tienen poco que ver con la agricultura tradicional, sino con la orientación mercantil y sobre todo la exportación.

La mayor parte de las explotaciones son de propiedad privada y gestión directa. Sólo algunas superficies de monte, forestales y pastoriles son de propiedad comunal. Casi todas ellas se localizan en las comarcas montañosas. La gestión indirecta tiene una importancia creciente, debido a que muchas tierras que se abandonan son puestas en explotación por otros agricultores. El contrato más frecuente es el de arrendamiento. Gracias a esto el tamaño de las explotaciones murciana es adecuado a las necesidades.

Esto no quiere decir que sean muy grandes, ya que el alto grado de tecnificación permiten conseguir grandes rendimientos en explotaciones de tamaño medio. El cultivo bajo plástico ha sido el gran factor que ha impulsado la producción agrícola.

La explotación forestal tiene poca importancia económica, y ocupa poca superficie de la región. Se localiza, mayoritariamente, en las comarcas montañosas. No se cubren las necesidades de la región. El bosque autóctono ha sufrido importantes ataques antrópicos, por lo que las principales especies forestales son los pinos de repoblación y los chopos en las riberas de los ríos.

La ganadería murciana siempre ha sido modesta. La ganadería extensiva prácticamente ha desaparecido. En la actualidad la ganadería se explota en régimen intensivo, y se localiza cerca de los mercados.

La principal cabaña es la porcina que supone casi un dos tercios del valor de la ganadería. A continuación encontramos el ovino, seguida de la de bovino, caprino y equino. La cabaña avícola tiene una importancia creciente.

La cabaña porcina se localiza, mayoritariamente en Lorca, Murcia y Fuente Álamo. El ganado ovino se concentra en Caravaca de la Cruz, Lorca, Totana, Moratalla y el Campo de Cartagena. La cabaña caprina está en Lorca y Moratalla. Y la cabaña bovina la encontramos en Murcia, Lorca y Cartagena.

La pesca en la Región de Murcia se ha practicado siempre, aunque ha sido una actividad secundaria. Los 274 km de costa son pobres en peces, y más los últimos años, en que se ha esquilado el fondo marino. Las capturas se comercializan íntegramente en la región y en fresco, pero no alcanzan para cubrir la demanda y se ha de recurrir a la importación. Los caladeros de la mayor parte de la flota alicantina están en, Argelia y el mar de Alborán.

La flota pesquera es artesanal, con pocos barcos, pequeños y de carácter familiar. Los mayores puertos pesqueros son los de Cartagena y Águilas. De todas maneras son de poca entidad. Además, parte de las capturas se desembarcan en puertos andaluces.

Si la pesca está en clara recesión la acuicultura está en clara expansión, sin embargo aún queda mucho por desarrollar para que llegue a ser una actividad importante.

#### **7.4.6.- Economía**

Murcia es un productor importante de productos agrícolas. Exporta tomates, lechuga y, especialmente limones y naranjas por toda Europa. Pese a que este sector fue antaño la base económica del municipio, ahora es menor.

Actualmente, el principal sector económico de Murcia es el de servicios de los que destacamos los administrativos, financieros, culturales y de otro tipo. La economía murciana se está volcando hacia el turismo residencial, donde los europeos de los países nórdicos buscan un segundo hogar en la soleada Murcia.

#### **7.4.7.- Recursos hídricos**

Las posibilidades futuras de disponer de suficientes recursos hídricos en la Región de Murcia y en la Cuenca del Segura dependen de toda una serie de decisiones políticas sobre la realización de una amplia variedad de infraestructuras y su gestión concreta, el aprovechamiento de márgenes de mejora en los sistemas de distribución y reutilización del agua; sin olvidar la necesidad ineludible de reducir y abandonar a medio plazo la sobreexplotación de los acuíferos y la incertidumbre sobre la evolución futura de las aportaciones hídricas naturales, vista su sustancial reducción desde hace unos quince años.

El balance hídrico global actual y sus perspectivas futuras en Murcia, se caracteriza por lo siguiente:

- Las demandas agrícolas de agua de riego son el elemento clave que determina en buena medida las necesidades hídricas de la cuenca, tanto por su volumen total, y su característica de implicar un elevado consumo neto, como por su trascendencia y rentabilidad económica y social para el sureste de España. La rápida expansión de las superficies regables en el contexto del Trasvase Tajo-Segura y de unos mercados

hortofrutícolas muy dinámicos ha elevado desde finales de los años ochenta la demanda de recursos hídricos utilizables por encima de 2.100 Hm<sup>3</sup>; es decir, mucho más de lo disponible, no sólo en la situación de sequía aguda de los últimos dos años. Optimizando al máximo todos los usos existentes en la cuenca, esta demanda podría reducirse ligeramente, pero aún en el caso más optimista no se alejaría mucho de los 2.000 hm<sup>3</sup>, si no se quiere reducir sus superficies regadas de forma importante.

- La disponibilidad de recursos se sitúa actualmente, con menos de 1.500 hm<sup>3</sup>/ año en condiciones normales, no de sequía, muy por debajo de la inicialmente prevista al emprenderse el proyecto de Trasvase Tajo-Segura. Esto se debe fundamentalmente a una grave disminución, en más de un tercio, de las aportaciones naturales a las cabeceras de ambas cuencas durante los últimos 15 años, en combinación con una gestión inadecuada de la cabecera del Tajo sobre todo a principios de los años ochenta (aunque también en la actualidad existe un potencial de mejora de esta gestión).

- Esta situación implica una infradotación en aproximadamente un tercio de las demandas agrícolas actuales. Esta situación de déficit estructural ha paralizado el crecimiento de las superficies regables desde principios de los años noventa, y las efectivamente regadas en la Región de Murcia, que habían comenzado a descender desde antes de la agudización de los últimos tres años, se situaron en 1994 ya un 14% por debajo de su máximo alcanzado.

- Incluso suponiendo una optimización de los diferentes usos del agua en la medida que parece viable técnica y económicamente a medio plazo, la infradotación de los usos agrícolas con los recursos actuales no deja de ser de un cuarto de la demanda.

<b>Balance Hídrico de la Cuenca del Segura</b>			
Oferta (hm <sup>3</sup> /año)		Demanda (hm <sup>3</sup> /año)	
Río Segura	320	Regadíos	1.660
Taibilla	40	Abastecimiento	280
Otros cauces	50	Ambiental	60
Subterráneas renovables	250		
Reutilización	140		
<b>TOTAL</b>	<b>800</b>	<b>TOTAL</b>	<b>2.000</b>

**Tabla 27-.** *Balance hídrico de la cuenca del Segura.* Elaboración propia. Fuente: Trasvases y desalación. Tiza y Pizarro, 2005.

#### 7.4.8.- Desaladoras

A diferencia de la desalación de aguas superficiales o procedentes de acuíferos, la desalación de agua de mar si puede incrementar de forma importante los recursos netos disponibles en la cuenca.

Existen varios sistemas de desalación y los costes del agua producida dependen en gran medida, en caso de ósmosis inversa, de la tarificación de la energía eléctrica consumida; y, en caso de evaporación en sistemas de cogeneración, de los precios de venta de la energía eléctrica sobrante.

En las condiciones vigentes, el agua desalada tiene un coste bastante elevado, con lo que la posibilidad de su utilización en la agricultura se limita a cultivos de muy alto valor. No obstante, eventuales mejoras técnicas pueden modificar estos costes en un futuro relativamente próximo.

Como consecuencia de la adquisición por la Mancomunidad de aguas desaladas por este procedimiento, se incrementará significativamente la tarifa para el suministro a municipios y entidades. En la actualidad, dicha tarifa resulta alrededor de dos tercios más barata que el coste mínimo del agua desalada por este procedimiento. Suponiendo

una adquisición de unos 25 hm<sup>3</sup>/ año y un suministro total idéntico al actual (unos 179 hm<sup>3</sup> en 1994), se calcula un incremento aproximado de la tarifa de un 25%.

Un problema específico de algunos sistemas de cogeneración hasta ahora propuestos es que producen energía eléctrica en muy grandes proporciones en relación con el agua desalada, lo que limita el volumen alcanzable de agua desalada con este procedimiento.

En un sistema de cogeneración pura propuesto para la cuenca y que se basa en generadores eléctricos conectados a motores, cada hm<sup>3</sup> de agua desalada producido genera aproximadamente el 3,3% de las energías eléctricas que consume la Región de Murcia (99 Kw/h por m<sup>3</sup> de agua desalada (calculado según datos publicados en Región Industrial N° 2, agosto 1995). Con solo 10 hm<sup>3</sup> se generaría por tanto un 35% del consumo eléctrico regional, y esto en un régimen de producción difícil de adaptar a las horas puntas de la demanda.

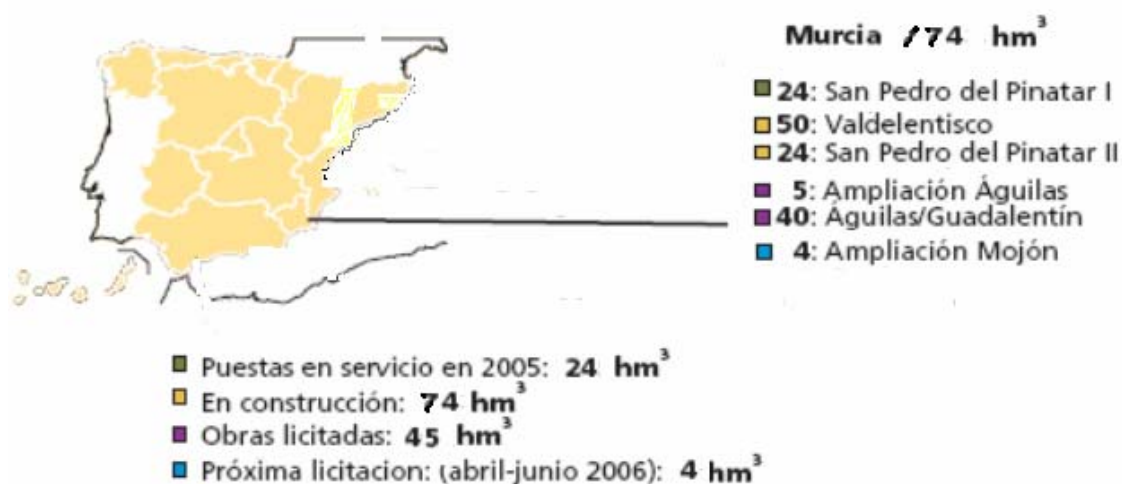
Las desaladoras en situación a 16 mayo de 2006 en la Comunidad Murciana son las siguientes, con una totalidad de 147 hm<sup>3</sup>/año:

- San Pedro del Pinatar I
- Valdelentisco
- San Pedro del Pinatar II
- Ampliación Águilas
- Águilas/Guadalentín
- Ampliación Mojón

La siguiente Tabla muestra las desaladoras y los hm<sup>3</sup>/año desalados.

Desaladoras	hm <sup>3</sup> /año
San Pedro del Pinatar I	24
Valdelentisco	50
San Pedro del Pinatar II	24
Ampliación Águilas	5
Águilas/Guadalentín	40
Ampliación Mojón	4
<b>TOTAL</b>	<b>147</b>

**Tabla 28.-** Desaladoras en la Comunidad Murciana y hm<sup>3</sup>/año agua desalada. Elaboración propia. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006.



**Fig. 44.-** Estado ejecución de las plantas desalinizadoras en la Comunidad de Murcia. Elaboración propia. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, Programa A.G.U.A. 16 mayo 2006.



**7.4.8.1.- Desaladora de San Pedro del Pinatar I** (puesta en servicio en 2005, 24 hm<sup>3</sup>/año)

La desaladora de San Pedro del Pinatar, un proyecto que se licitó en 1995. Recoge agua de mar y utiliza la tecnología de ósmosis inversa. Con la puesta en funcionamiento de esta desaladora se cumple uno de los objetivos del Programa AGUA: incrementar en el menor tiempo posible los recursos hídricos en aquellas zonas donde la demanda de agua está insatisfecha.

El agua que empieza a producir la desaladora de San Pedro del Pinatar es la primera del Programa AGUA destinada al abastecimiento urbano que llega a esta zona del sudeste español, una zona prioritaria en la planificación de los recursos hídricos por parte del Ministerio de Medio Ambiente. los ciudadanos de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla podrán disponer de un hectómetro cúbico al mes procedente de la planta, que contribuirá a mejorar el suministro de agua y evitará que haya restricciones de agua potable este verano en la zona. Cuando finalicen las obras del emisario submarino antes de fin de año, esta cantidad se incrementará a 2 hm<sup>3</sup>/mensuales.

La desaladora de San Pedro del Pinatar –también conocida como la desaladora del Canal de Cartagena– está situada en una parcela de 29.000 m<sup>2</sup>, en el paraje de El Mojón, en las inmediaciones del área protegida del Parque Regional de las Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar.

Tendrá una capacidad diaria de 65.000 m<sup>3</sup> destinados a incrementar los recursos hidráulicos de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla. El agua será aportada al nuevo Canal de Cartagena, aguas arriba de la toma de abastecimiento de la zona Norte del Mar Menor, a través de un depósito regulador de 65.000 m<sup>3</sup>.

#### **7.4.8.2.- San Pedro del Pinatar II (en construcción 24 hm<sup>3</sup>/año)**

La desaladora de San Pedro del Pinatar II se construirá en un periodo de tiempo que supone un tercio del que se invirtió en la primera planta (San Pedro del Pinatar I), lo cual da idea del altísimo ritmo de ejecución de las obras, que permitirá su puesta en marcha este año. Utilizará la tecnología por ósmosis inversa y captará agua del mar.

Será fundamental para incrementar los recursos de los municipios de la Mancomunidad de Canales del Taibilla, organismo autónomo que abastece de agua potable a 79 municipios, de los que 43 pertenecen a la Región de Murcia, 34 a la provincia de Alicante y 2 a la provincia de Albacete.

El Programa A.G.U.A. (Actuaciones para la Gestión y la Utilización del Agua) del Ministerio de Medio Ambiente incluye proyectos de mejora de gestión y del suministro de agua acordes con las necesidades existentes y futuras ligadas al desarrollo de los territorios de forma sostenible en términos económicos, sociales y ambientales.

La desaladora de San Pedro del Pinatar II, que se empezó a construir en abril de 2005 y cuya inversión asciende a 83 millones de euros, fue declarada de emergencia por el Ministerio de Medio Ambiente en febrero de 2005.

La nueva instalación, que se ubica en una parcela contigua a la desaladora de San Pedro del Pinatar I, capta el agua de mar mediante un túnel de 1,7 kilómetros de longitud, utiliza el mismo emisario para vertido del agua de rechazo y producirá otros 24 hectómetros cúbicos anuales de agua desalada, poniendo fin a la situación deficitaria de recursos hídricos asignados a la Mancomunidad de los Canales del Taibilla, existente desde el año 2000.

Esta actuación del Programa A.G.U.A. viene a potenciar la actividad de desalación en la cuenca del Segura y permitirá garantizar el abastecimiento en la zona para una población aproximada de 500.000 habitantes, que se duplica en los meses de verano.

La desaladora de San Pedro del Pinatar II se añadirá a la relación de plantas que ya funcionan a pleno rendimiento, como son las de San Pedro del Pinatar I, con 24 hm<sup>3</sup>/anuales, y la ampliación de Alicante I, con 6 hm<sup>3</sup>. Asimismo, la desaladora de Valdelentisco, con 57 hm<sup>3</sup>, también entrará en funcionamiento próximamente.

Por otro lado, el Ministerio de Medio Ambiente ha propiciado recientemente un acuerdo entre la Comunidad de Regantes del Canal de las Aves, de Aranjuez (Madrid), y la Mancomunidad de los Canales del Taibilla para que la primera ceda a esta última parte de los recursos de uso que tiene sobre las aguas del Tajo. La cantidad de agua a ceder se ha estimado en los 30-40 hectómetros cúbicos, lo que equivale a casi tres meses de abastecimiento para la cuenca del Segura.

Las obras de la Desaladora de San Pedro del Pinatar II se ubican en el término municipal de San Pedro del Pinatar y del Pilar de la Horadada, y consisten básicamente en:

Captación de agua de mar: Proyectada como toma abierta, mediante la ejecución de un microtúnel con tubería prefabricada de hormigón armado de diámetro interior 2.000 mm. y una longitud total de 1.800 m, de los cuales 1.100 corresponden al tramo submarino y 700 al tramo terrestre. Se proyecta la ejecución de un cajón de toma sumergido, ubicado a la cota -12 m.s.n.m.

Planta desaladora: Ubicada en el paraje de El Mojón, junto a la desaladora en servicio, con una capacidad de producción diaria de 65.000 metros cúbicos.

Impulsión de agua producto: Hasta un depósito de nueva construcción en el paraje de Lo Romero, con una longitud de 9.100 metros y 1.100 milímetros de diámetro.

Depósito de Lo Romero: Mediante la ejecución de un nuevo depósito de dos cámaras con una capacidad total de 65.000 m<sup>3</sup>, ubicado en las inmediaciones del Nuevo Canal de Cartagena.

Vertido del agua de rechazo: Mediante conexión con el emisario de vertido de salmuera actualmente en fase de construcción.

#### **7.4.8.3.- Valdelentisco (en construcción 50 hm<sup>3</sup>/año)**

La desalinizadora de Valdelentisco abastecerá a los municipios a los que suministra agua la Mancomunidad de Canales del Taibilla, y a los regadíos y abastecimiento urbano del Campo de Cartagena.

La desalinizadora de Valdelentisco se encuentra ubicada en la desembocadura de la rambla homónima, entre los términos municipales de Cartagena y Mazarrón, y consta de una toma de agua, excavada mediante una tuneladora; una cántara de captación; una impulsión a la planta; una instalación de filtros de arena y antracita; y un edificio de filtro de cartucho, que pueden desalar por ósmosis inversa hasta 200.000 m<sup>3</sup> de agua al día.

Para evitar cualquier tipo de afección sobre la barrera de posidonia oceánica (explicado más extensamente en el punto 8), ha instalado difusores en la salida del salmueroducto, para que la salmuera se diluya en la misma proporción que la existente en esta zona de la Bahía de Mazarrón.

Este proyecto nace en agosto de 2001 con la aprobación del pliego de las bases del concurso, presentándose los proyectos de los distintos ofertantes en febrero de 2002. Posteriormente, en mayo de 2003 ACSegura adjudicó las obras de forma provisional a la UTE formada por Ferrovial-Cadagua, firmándose el acta de replanteo en noviembre de 2004 e iniciándose las obras en febrero de 2005.

La desalinizadora de Valdelentisco se encuentra a las puertas del lugar de Interés Comunitario (LIC) y Zona Especial de Protección de Aves (ZEPA) Sierra de La Muela-Cabo Tiñoso, circunstancia que ACSegura ha aprovechado para integrar esta obra en la naturaleza.

#### **7.4.8.4.- Desaladora de Águilas/Guadalentín (próxima licitación, 40 hm<sup>3</sup>/año)**

La desaladora de Águilas/Guadalentín con una capacidad anual de 40 hm<sup>3</sup>/año, ha sido adjudicada a la unión temporal de empresas Ferrovial Agromán, Sacyr Sadyt, Cadagua, por un importe de 239 millones de euros (IVA incluido). El plazo de construcción de las obras es 22 meses.

La actuación consiste en la construcción de las instalaciones necesarias para complementar con agua desalada el suministro de las demandas de riego de la zona sur de la cuenca del Segura y de abastecimiento a sus municipios, suministradas, las primeras, actualmente desde el acuífero del Alto Guadalentín, y las segundas desde el trasvase Tajo–Segura. Del mismo modo se incluyen las instalaciones que se requieren para aumentar la dotación de agua bruta a la planta existente de la Comunidad de Regantes de Águilas.

Se compone de las siguientes partes:

- Construcción de una nueva planta desaladora de 40 hm<sup>3</sup>/año de capacidad, con destino a los abastecimientos urbanos y al regadío de la zona litoral y del Valle del Guadalentín.
- La obra de toma de la nueva planta tendrá, además, capacidad suficiente para dotar de agua bruta a la actual desaladora de la Comunidad de Regantes de Águilas, y conseguir así que su producción alcance los 8, hm<sup>3</sup>/año para los que fue dimensionada.
- Impulsión del agua desalada a la balsa de regulación de la Comunidad de Regantes de Águilas (Salinares).
- Impulsión del agua desalada a las instalaciones de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla en Águilas.
- Impulsión del agua desalada a la zona regable de Pulpí y al Valle del Alto Guadalentín.

### Nueva planta desaladora de Águilas/Guadalestín

La nueva planta desaladora de Águilas se construirá en una parcela contigua a la de la planta actual. Se accede a ella desde la carretera de circunvalación a través de la calle principal del polígono. Su superficie es del orden de los 50.000 m<sup>2</sup>.

Esta ubicación ofrece además la ventaja de suministrar desde la toma de la nueva planta el volumen de agua bruta necesario para que la planta actual funcione a plena capacidad.

### Toma de agua de mar

Se proyecta una toma abierta, formada por una torre cilíndrica de 5 metros de diámetro, apoyada en el fondo marino. Se sitúa frente a la desembocadura de la rambla del Cañarete, casi en la prolongación del eje de ésta, en zona libre de posidonia o degradada, y por lo tanto con una afección medioambiental mínima, y con la ventaja de poder captar el agua de buena calidad por la baja actividad biológica.

La captación se hace a través de ventanas perimetrales situadas en todo el contorno del cilindro. En el tramo terrestre las tuberías se entierran en una zanja situada en el fondo de la rambla. La longitud total del tramo marino es 840 metros.

### Cámara de bombeo

Se situará junto a la rambla del Cañarete, en zona alejada de las edificaciones y fuera de la servidumbre litoral. Se construirá subterránea para disminuir el impacto paisajístico y amortiguar el ruido.

### Conducción de agua de mar

La conducción de agua de mar tiene una longitud de 3,2 kilómetros y está formada por dos tuberías de poliéster reforzado en fibra de vidrio, de 1.200 mm de diámetro, que van desde la cámara de bombeo hasta la planta desaladora. El caudal de diseño es 5,026 metros cúbicos por segundo. El trazado discurre por la margen izquierda de la rambla del Cañarete hasta su cruce con la circunvalación de Águilas en el tramo de salida hacia

Almería, desde donde sigue prácticamente paralela a un camino existente. A la altura del punto kilométrico 1+300 cruza mediante hinca el ferrocarril Lorca-Águilas, y, con igual método, la citada carretera en el punto kilométrico 1+500. A continuación el trazado sigue paralelo a la carretera en dirección a Calabardina, hasta llegar al depósito de alimentación y desarenado de agua bruta de la planta. En este último tramo cruza, también mediante hinca, la carretera de entrada a Águilas y, nuevamente, la carretera de circunvalación.

#### Vertido del agua de rechazo

La conducción de agua de rechazo discurre por la rambla del Charco hasta la playa de Poniente; desde allí se dispone paralela al muro delimitador del paseo marítimo, con un último tramo en túnel bajo el farallón calizo del Castillo de Águilas. A partir de este punto se conecta con un emisario submarino hasta la cota -30,00. El vertido se realiza mediante difusores en una longitud de 127 metros.

#### Planta desaladora

La planta desaladora, de ósmosis inversa, tendrá una capacidad de producción de 40 hm<sup>3</sup> al año (180.000 m<sup>3</sup> día).

La disposición de los diversos elementos en el interior de la planta se hará siguiendo la dirección del flujo de agua, por lo que, cerca de la entrada, en la parte más elevada del terreno, se dispone el depósito de llegada a la planta y capacidad de 6.300 m<sup>3</sup>. Será cerrado para evitar la presencia de luz, generadora de actividad biológica.

A la salida de la nave de ósmosis el agua producto pasa al depósito de regulación, desde el que se alimentan los equipos de bombeo situados en cámaras de las que parten las tres conducciones.

#### Red de distribución del agua producto

El agua producida por la nueva planta desaladora se destinará a tres distintos usuarios, que son la Mancomunidad de los Canales del Taibilla (para abastecimiento

urbano de Águilas y el Alto Guadalentín), para riegos de la Comunidad de Regantes de Águilas, para el riego de las zonas del Alto Guadalentín dependientes del acuífero, como son los regadíos de Lorca y Puerto Lumbreras, y para la Comunidad de Regantes de Pulpí.

Para dar servicio a los distintos usuarios se proyecta una red de distribución formada por tres conducciones, las elevaciones correspondientes y una balsa de regulación.

#### Conducción para abastecimiento

Esta conducción parte de la cámara de bombeo situada en el interior de la planta, y después de un recorrido de 3 kilómetros llega a los depósitos de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla.

La impulsión ha sido dimensionada con un caudal máximo de 331 litros por segundo, para cuya valoración se han tenido en cuenta las grandes puntas estacionales.

#### Conducción para riego de la Comunidad de Regantes de Águilas

Esta conducción partirá de la cámara de bombeo, situada cerca de la anterior, y llega, después de un recorrido de 4,8 kilómetros, a la balsa de Salinares de la Comunidad de Regantes de Águilas; transportará 15 hm<sup>3</sup> al año, que desde allí se distribuirán por la red de la Comunidad de Regantes.

El trazado de la tubería discurre por caminos rurales, cruzando la futura autopista Cartagena-Vera unos 900 metros antes de su llegada al embalse.

#### Conducción para riego del Valle del Alto del Guadalentín

Las conducciones de riego para dotar de agua al Valle del Guadalentín y la destinada al abastecimiento se han diseñado de forma independiente por su diferente uso en destino.



Por otra parte, la diferencia de caudales y alturas geométricas, unido a la variabilidad previsible de la distribución de la demanda en el tiempo de cada uno de los usos, hace aconsejable independizar ambas impulsiones.

La conducción para riego comienza en la planta desaladora y llega a la balsa de regulación del Cerro Colorado. Está compuesta por dos impulsiones consecutivas con un depósito intermedio. El primer tramo parte de la cámara de bombeo situada frente a la anterior, y después de un recorrido de 11,2 kilómetros llega a la segunda estación de bombeo, situada al pie del Collado del Mojón, donde toma la zona regable de Pulpí. Termina en la segunda impulsión, a la cota 220 metros, en la que empieza el segundo tramo que cruza el Collado del Mojón y gira hacia el norte, por la vertiente oeste de la sierra de la Almenara, hasta llegar a la balsa de regulación, que se situará a la cota 365, denominada del Cerro Colorado. Esta balsa constituye el final de la conducción al Valle del Guadalentín. La tubería será de acero helicosoldado de 1.000 milímetros de diámetro, y tendrá una longitud de 5,8 kilómetros.

#### **7.4.8.5.- Desaladora Ampliación Águilas (próxima licitación, 5 hm<sup>3</sup>/año)**

Actualmente todas las demandas de regadío del Alto Guadalentín y en la zona costera de Águilas, que no son beneficiarias del trasvase Tajo-Segura, se abastecen con aguas subterráneas. Esto ha provocado una explotación intensiva del acuífero del Alto Guadalentín desde los años sesenta, llegando en estos momentos a una situación de sobreexplotación. Para resolver esta preocupante situación, del acuífero de una manera global, se ha desarrollado este proyecto (desaladoras de Águilas/Guadalentín y ampliación de la misma).

Esta previsto que sea una desaladora para riego en Murcia. Será la ampliación de la instalación de la desaladora anteriormente comentada. Seguirá la misma tecnología de ósmosis inversa y aumentará en 5 hm<sup>3</sup>/año. Siguiendo también la implantación de energías renovables. Energía térmica para la generación de agua caliente sanitaria y climatización y solar fotovoltaica para la generación de electricidad que cubrirá las necesidades de iluminación interior y exterior, riego de zonas verdes, climatización) e importantes medidas de integración arquitectónica, paisajística y ambiental mediante la utilización de materiales ecológicos, tecnologías sostenibles, vegetación autóctona,

aprovechamiento del terreno y eficiencia energética, entre otras. Además se creará un Centro de Interpretación de la Desalación de uso público.

## 7.5.- Andalucía



**Fig. 45.-** Mapa de España por autonomías, Andalucía. Fuente: España por Autonomías, 2007.

### 7.5.1.- Geografía

Andalucía se encuentra en el sur de la península ibérica, entre Sierra Morena y la costa. En ella se encuentran las altas montañas Sistema Bético. Limita al norte con Castilla-La Mancha (Albacete y Ciudad Real) y Extremadura (Badajoz), al oeste con la Región de Murcia y el mar Mediterráneo, al sur con el mar Mediterráneo y el océano Atlántico; y al este Portugal. Tiene una superficie de 87.597 km<sup>2</sup>, lo que la convierte en una de las regiones más grandes de España, y sus costas tienen una longitud total de 864 kilómetros.

Andalucía es una comunidad autónoma española compuesta por ocho provincias: Almería, Cádiz, Córdoba, Granada, Huelva, Jaén, Málaga y Sevilla. Su capital es Sevilla.



**Fig. 46.-** *Provincias de Andalucía.* Fuente: Enciclopedia Libre, 2007.

#### 7.5.2.- Ríos

Andalucía tiene una gran diversidad hidrológica, debido principalmente a que sus ríos pueden ser de las dos vertientes: la atlántica y la mediterránea. En la vertiente atlántica encontramos las cuencas del Guadiana, Odiel-Tinto, Guadalquivir y Guadalete-Barbate, mientras que a la vertiente mediterránea pertenecen los ríos de la cuenca Sur.

Los ríos más importantes de Andalucía son:

el Guadalquivir, el río más largo de Andalucía y quinto de la península, (657 km), nace en la Sierra de Cazorla (Jaén), pasa por las ciudades de Andújar, Córdoba y Sevilla, y desemboca en Sanlúcar de Barrameda (Cádiz). Sus afluentes principales son:

- Genil y Guadiana Menor por la margen izquierda.
- Guadalimar, Guadiato y Bembézar por la margen derecha.
- Guadiana, desemboca en Ayamonte.
- Odiel y Tinto, desembocan en la Ría de Huelva.

- Guadalete, que desemboca en El Puerto de Santa María, y Barbate.

De la multitud de ríos menores mediterráneos destacan el Guadiaro, Guadalhorce, Guadalmedina, Guadalfeo, Andarax (o Almería) y Almanzora.

### **7.5.3.- Climatología**

El clima dominante en Andalucía es el mediterráneo pero está abierto a las masas de aire húmedo marítimo procedentes del Atlántico. Es, pues, más húmedo que en el resto de la península, aunque muy cálido. Las montañas presentan medias climáticas más frías y húmedas. La sierra de Grazalema registrar las mayores precipitaciones de España, por encima de los 2.000 mm. No obstante, el sector oriental, a sotavento de las montañas béticas, es una de las regiones más secas de España. Se trata del clima subtropical seco. Este es el clima típico de las zonas desérticas, que se da en Almería por razones topográficas y de orientación. Es un clima seco, menos de 300 mm, y caluroso. Las precipitaciones son muy irregulares. La amplitud térmica diaria es moderada, pero la anual es muy pequeña.

Existe un notable gradiente térmico desde el oeste hacia el este, siguiendo el cauce del Guadalquivir y la costa. El gradiente pluviométrico tiene un patrón diferente hay que los máximo se desplazan hacia las montañas occidentales. Los centros de acción principales son el frente polar, que descarga sus masas de aire húmedas y el anticiclón de las Azores, que domina en verano. En invierno aparecen anticiclones térmicos sobre Castilla-La Mancha que llegan a la región y dan un tiempo seco y frío, en esta situación son frecuentes las nieblas en el valle del Guadalquivir. Sólo se libran de ellas las costas orientales, resguardadas de las olas de frío por la cordillera Penibética. En verano las bajas presiones saharianas provocan olas de calor.

El clima está condicionado por la topografía. Las masas de aire húmedo del Atlántico llegan con facilidad. El efecto barrera se potencia en las montañas occidentales y en las vertientes de barlovento de las sierras Béticas, mientras que el efecto foehn se muestra muy activo en el este de la región, dando a Almería un clima mucho más seco.

Las precipitaciones presentan un patrón muy claro. Son más abundantes en las montañas occidentales, tanto de Sierra Morena, como las sierras de Ronda y Grazalema, lugar más lluvioso de España. En las sierras Béticas y en las altas cumbres Penibéticas se alcanzan más de 1.000 milímetros al año. En su entorno inmediato se llegan a los 600. El resto de la región es seca; con dos sectores, el occidental, dominado por el valle del Guadalquivir y abierto a las masas de aire marítimas del atlántico, donde se llegan hasta los 400-600 mm al año. Al este de la región, a sotavento de las sierras Béticas encontramos regiones áridas, donde no se recogen más de 400 mm al año, y en la costa almeriense, desde el cabo de gata, no se alcanzan los 200 mm.

Una de las características más notables, sobre todo en las regiones más secas es la irregularidad interanual. La época más lluviosa del año es la primavera, seguida del otoño. Son las épocas en las que llegan las masas de aire polar marítimo que trae el frente polar. El anticiclón de las Azores predomina en verano, dando un tiempo seco, soleado y caluroso. En invierno se instalan sobre la región anticiclones térmicos que provocan tiempo seco soleado y fresco, que puede llegar a ser frío en las montañas, con nieblas persistentes.

La gota fría en otoño es muy violenta, sobre todo en las costas del Mediterráneo, provocando repentinas inundaciones y activando numerosos barrancos inactivos la mayor parte del tiempo. En las montañas el máximo secundario se traslada del otoño al invierno. Encontramos hasta cuatro meses de aridez en la mayor parte de la región. En Almería los meses de aridez llegan a ser hasta diez, sólo se libran de la aridez diciembre y enero, por eso este clima no es mediterráneo, sino subtropical seco.

Las temperaturas presentan un gradiente con un patrón diferente al de las precipitaciones. Las zonas más calurosa se encuentra al oeste, y a lo largo del valle de Guadalquivir, hasta Jaén, y a lo largo de toda la costa. Aquí se superan los 18 °C de media anual. También Almería tiene medias superiores a los 18 °C. Desde esta zona hasta las montañas se registran unas temperaturas medias entre 16 y 18 °C. En Sierra Morena descienden hasta los 14 °C y en las alturas del sistema Bético descienden rápidamente, hasta alcanzar mínimas por debajo de los 10 °C en Sierra Nevada y Segura y Cazorla. Principalmente de Guadalajara, las temperaturas disminuyen rápidamente hasta alcanzar temperaturas medias anuales de menos de 8°C.

El mes más frío es enero y el más caluroso agosto. En las montañas, en enero se pueden alcanzar temperaturas bajo 0 °C se dan heladas seguras, sin embargo en el resto de la región las heladas son una anécdota. En la costa prácticamente son inexistentes. El verano llega a ser caluroso. Así pues tenemos inviernos cortos y frescos y veranos largos y calurosos y la primavera y el otoño son estaciones breves e irregulares pero muy marcadas.

#### **7.5.4.- Población**

Es la comunidad autónoma más poblada (7.975.672 habitantes, en 2006) y la segunda más extensa, lo que unido a su historia y cultura le confiere un peso singular y decisivo en el conjunto de España.

La población está muy mal repartida. El 50% de la población vive en una de las veintinueve ciudades con más de 40.000 habitantes y la otra mitad en poblaciones menores. Sevilla, con 684.633 habitantes es la ciudad más poblada. Málaga, con 524.414 también supera el medio millón de habitantes. Pero hay otras diez ciudades de más de 100.000 habitantes: Córdoba (308.072 h), Granada (240.661 h), Jerez de la Frontera (183.273 h), Almería (166.328 h), Huelva (142.284 h), Cádiz (133.363 h), Jaén (112.590 h), Dos Hermanas (101.988 h), Algeciras (101.468 h) y Marbella (100.036). Con más de 50.000 habitantes hay otras once ciudades: San Fernando (88.073 h), El Puerto de Santa María (76.236 h), Chiclana de la Frontera (61.028 h), Sanlúcar de Barrameda (60.254 h), La Línea de la Concepción (59.437 h), El Ejido (57.877 h), Linares (57.578 h), Alcalá de Guadaira (57.426 h), Vélez-Málaga (57.142 h), Motril (51.298 h) y Roquetas de Mar (50.096). Con más de 10.000 habitantes hay ni más ni menos que otros 101 municipios, por lo que el 77% de la población vive en ciudades. Hay 180 municipios que tienen menos de 1.000 habitantes, de los cuales 93 tienen menos de 500 habitantes y sólo 2 menos de 100.

La población se concentra en torno a Sevilla, Málaga y Cádiz-El Puerto de Santa María. Junto con el entorno de La Línea de la Concepción y Roquetas de Mar-El Ejido son las zonas de Andalucía donde la densidad demográfica supera los 1.400 h/km<sup>2</sup>. En Huelva, Algeciras, Marbella, Motril, Adra, Almería, Córdoba, Linares, Puente Genil, Granada, Guadix y el entorno de Sevilla, se superan densidades de 100 h/km<sup>2</sup>. En el resto del valle del Guadalquivir la densidad está un poco por debajo de la media de España. Sin embargo la zonas montañosas de Sierra Morena, Ronda y Grazalema, Sierra Nevada, Segura y Cazorla, y la mar parte de la provincia de Almería no se superan los 50 h/km<sup>2</sup>. Es casi la mitad de las superficie regional

Históricamente Andalucía ha sido una región muy poblada, incluso superpoblada en determinadas vicisitudes históricas, como el Granada nazarí, o la Sevilla de los siglos XVI y XVII. A lo largo del siglo XX ha ido aumentando su población a un ritmo muy superior que el conjunto de España, doblando, incluso sus tasas, por lo que su peso relativo ha ido aumentando continuamente. Las tasas de natalidad han sido muy superiores a la media española. Las de mortalidad han sido un poco superiores hasta los años 1950, pero desde entonces se ha situado claramente por debajo de la media de España, gracias a la generalización de la Seguridad Social y su asistencia sanitaria y la mayor juventud de la población andaluza. No obstante, en general, la Andalucía occidental ha sido más dinámica que la oriental.

La emigración ha sido una constante a lo largo de la historia, pero a partir de 1950 las cifras se disparan, saliendo de la región más de medio millón en los 50, más de 800.000 en los 60 y más de 1.000.000 en los 70. La región en su conjunto es una emisora de emigrantes. A lo largo del siglo XX participó de las principales corrientes migratorias: a América y el norte de África antes de la guerra civil española, y Europa en los años 60 y 70, Alemania Francia y Suiza, aunque también a Holanda, Bélgica y Gran Bretaña. Los destinos dentro de España han sido, Cataluña, Madrid, Valencia, y en menor medida País Vasco y Baleares. También se ha dado el éxodo rural del campo a la ciudad, sobre todo a Madrid. Así, las capitales de provincia y los pueblos de la Costa del Sol y Cádiz, sirvieron de estadio intermedio en la emigración exterior. Sin embargo en los años 90 la región se ha convertido en receptora de inmigrantes neta, la mayor parte de ellos procedente de Marruecos, el África subsahariana, e Hispanoamérica, para trabajar en la agricultura.

Las altas tasas de natalidad y las bajas mortalidad y la nueva inmigración, ha provocado un lento envejecimiento de la población, que incluso en los últimos tiempos implica y ligero rejuvenecimiento. En las comarcas más despobladas el índice de masculinidad es elevadísimo por lo que sus habitantes tienen grandes dificultades para contraer matrimonio.

#### **7.5.5.- Agricultura, ganadería y pesca**

En Andalucía el peso de la agricultura es muy importante, pero hay que distinguir dos modelos totalmente diferentes: la agricultura tradicional de grandes propiedades y la agricultura intensiva de la costa. Estos dos modelos implican dos pautas de empleo de la fuerza de trabajo. En ambos casos se trata del empleo de grandes cantidades de mano de obra jornalera, pero así como en las zonas de agricultura extensiva el paro agrícola es endémico durante la mayor parte del año. En la costa frecuentemente no se cubren los empleos de temporeros. El paro es mínimo, ya que se dan varias cosechas al año. Durante la década de los 60 y los 70 el éxodo rural fue muy intenso por culpa del paro agrícola, pero en la actualidad, gracias a los planes de empleo rural, y otras medidas, la emigración se ha detenido. Las explotaciones más productivas, las que sostienen realmente la producción agrícola son de tamaño medio y hasta pequeño, muy adecuadas para rentabilizar la actividad son inversiones en maquinaria que se puede recuperar en, relativamente, poco tiempo. El cultivo bajo plástico ha sido el gran factor que ha impulsado la producción agrícola.

La agricultura andaluza está muy especializada. Las grandes propiedades se dedican, fundamentalmente al olivo, mientras que la agricultura intensiva de la costa, se dedica a los productos hortícolas. Esta es la agricultura más productiva de España. El gran problema de la agricultura andaluza es el regadío, sobre todo en la agricultura bajo plástico, que se ha instalado en las regiones más secas del país, debido a que son, también, las que garantizan más días de calor y más cosechas por año. Estas regiones secas tienen, además, el problema de que todos los años algunas lluvias son torrenciales, lo que perjudica las cosechas. El regadío está extendido, fundamentalmente a lo largo del Guadalquivir y en la vega de Granada.



El producto estrella de Andalucía es el olivar, sobre todo el aceite. Jaén y Córdoba son las regiones productoras más importantes del mundo. Le siguen todo tipo de productos hortícolas, que se cultiva en función de la demanda esperada. Entre estos cabe destacar el cultivo de la fresa en la costa onubense. En el valle del Guadiana y la vega de Granada, a parte del olivar, encontramos los cultivos cerealísticos y la remolacha azucarera.

El viñedo es un cultivo tradicional en Andalucía. Su producción no es muy grande pero sí de gran calidad. Gracias a esto algunos de los vinos de Andalucía están entre los más apreciados del mundo, como los de Jerez o Málaga.

La agricultura andaluza está sufriendo un proceso de transformación que la está convirtiendo en una de las agriculturas más rentables del mundo. No obstante, aún existen fuertes resistencias al cambio en las comarcas menos dinámicas del interior. El cambio de la agricultura no sólo implica un cambio en el modelo de explotación sino de todo un sistema social, hoy obsoleto, en el que los grandes terratenientes explotaban una gran cantidad de mano de obra jornalera cautiva ante la falta de alternativa.

La explotación forestal tiene bastante importancia económica, y se dedica a ella cerca de un 50% de la superficie de la región. El bosque autóctono ha sufrido importantes ataques antrópicos, por lo que las principales especies forestales son los pinos de repoblación y los eucaliptos (Huelva), y los chopos en las riveras de los ríos. La encina y el roble, con aprovechamiento forestal, son escasos. La mayoría de la superficie forman parte de dehesas. La mayoría de los bosques son de propiedad privada, y su gestión responde a criterios de rentabilidad empresarial. Los bosques andaluces producen ante todo, madera para muebles y papel, corcho y leña, pero también es muy importante la caza. La provincia más maderera es Huelva, con casi el 60% de la producción.

La ganadería ha estado, desde siempre, íntimamente ligada a la agricultura.

La cabaña bovina es muy importante, tanto de leche como de carne, además del toro de lidia, que posee pocas cabezas pero son muy rentables. Las provincias que sobresalen en esta cabaña son Córdoba, Cádiz y Sevilla.

La cabaña de ovino es también muy importante, sobre todo en cuanto a oveja de lana. Aquí sobre sale a mucha distancia la provincia de Córdoba, seguida de Granada y Huelva.

La cabaña caprina es también bastante importante, aunque en franco retroceso. Las provincias con más cabezas son Málaga, Granada y Almería.

La cabaña de porcino ha sufrido una transformación radical. Se ha pasado de la producción doméstica a las grandes explotaciones semiextensivas en las que se cría cerdo ibérico. Málaga, Sevilla y Granada son las provincias con más cabezas pero el porcino onubense, donde se encuentra el municipio de Jabugo, es la más rentable.

En Andalucía hay una importante cabaña equina, sobre todo de caballos de gran calidad, pero también mulas y burros. Esta cabaña ya no está, mayoritariamente, dedicada a las labores agrícolas sino a las de ocio. Se reparte casi por igual por todo el país, pero destacan las provincias de Sevilla, Málaga Huelva y Cádiz.

La cabaña avícola se concentra, estabulada, en torno a las grandes ciudades Sevilla, Granada, Málaga, Córdoba, etc. Se trata de explotaciones intensivas muy modernas. Junto a estas explotaciones se encuentran otras dedicadas a la cría del conejo.

El sector pesquero andaluz es el segundo de España en importancia, sólo por detrás de Galicia, pero tiene muchísimos problemas. Tiene una flota muy importante, sobre todo en gran altura, aunque la mayoría de los barcos son de bajura que emplea a gran cantidad de mano de obra, normalmente de carácter temporal. Es, por ello, un sector poco productivo.

Las artes más utilizadas son el arrastre y el cerco, que se realizan en dos modalidades, el fresco y el congelado. Esto revela la modernidad la flota andaluza, que es capaz de satisfacer las demandas de pescado tanto fresco como congelado. Sin embargo, más de la mitad de los barcos usan artes de superficie y son muy poco rentables. No obstante, los barcos dedicados al arrastre y el cerco suelen tener estas artes como complementarias.

### **7.5.6.- Economía**

De los principales rasgos de la economía andaluza, se podría destacar:

- La tasa de desempleo, aunque al parecer reduciéndose con cierta rapidez, es aún muy elevada, de 13,85 (cuando la media de España es de 9,16).
- La balanza comercial negativa, empeorando en los últimos años debido al peso de las importaciones de petróleo y de bienes de consumo (importaciones 14.261 Millones de euros, exportaciones 17.535 millones de euros).
- Excesiva importancia de la construcción, con importante crecimiento en los últimos años.
- Tímido crecimiento, de la industria, dentro del cual tiene gran importancia la industria agroalimentaria.
- El sector turismo también es importante en Andalucía. En el año 2005 tuvo 23 millones de turistas.

### **7.5.7.- Recursos hídricos Andalucía**

La superficie de riego en la comunidad andaluza asciende a más de 815.000 hectáreas, un 20% de la superficie agrícola, y al riego de esta superficie se destina el 77% de los recursos hídricos disponibles. Los regadíos constituyen, además, la base del sistema agroalimentario andaluz, con un 53% de representación en la producción final agraria de la región y el 55% del empleo total agrario. El agua, sin embargo, es un bien escaso, por lo que la sostenibilidad del recurso se ha convertido en una prioridad para administraciones y usuarios.

En Andalucía, el Programa A.G.U.A. (Actuaciones para la Gestión y la Utilización del Agua) contempla actuaciones en dos únicas provincias: Almería y Málaga. Las actuaciones cuentan con un presupuesto total de 579 millones de euros centrándose en lograr un incremento de los recursos hídricos en 314 hm<sup>3</sup>/año: 189 en la provincia de Almería y 125 en la provincia de Málaga.

No se contemplan actuaciones dirigidas a mejorar la calidad del agua, ni a la prevención de inundaciones, ni a la restauración ambiental.

	<b>Almería hm<sup>3</sup></b>	<b>Málaga hm<sup>3</sup></b>	<b>Total hm<sup>3</sup></b>
Incremento disponibilidad recursos hídricos	5	2	7
Mejora de la gestión de los recursos hídricos	7	3	10
Mejora de la calidad del agua, prevención de inundaciones y restauración ambiental	--	--	--
<b>Total</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>17</b>

**Tabla 29.- Actuaciones para la calidad del agua.** Elaboración propia. Fuente: Ingeniería Civil y Medio Ambiente, 2007.

A la provincia de Almería se destinan 352 millones de euros, 226 de los cuales se destinarán a la implantación de 5 plantas desaladoras con las que se prevé un incremento en los recursos hídricos de 165 hm<sup>3</sup>/año. Los 126 millones restantes se destinan a actuaciones para mejorar la gestión de los recursos hídricos de modo que se logre incrementar la disponibilidad de los mismos en 24 hm<sup>3</sup>/año.

Actuaciones	Objetivos	Incremento de recursos	Presupuesto
Desaladora del Campo de Dalías	Incremento disponibilidad de recursos hídricos	165 hm <sup>3</sup> /año	226 millones €
Desaladora de Níjar			
Deseadora en el Bajo Almanzora			
Desaladora de agua de mar de Carboneras 2ª fase			
Desalación en el Poniente Almeriense			
Actuaciones complementarias de reutilización de aguas en el Campo de Dalías	Mejora de la gestión recursos hídricos	24 hm <sup>3</sup> /año	126 millones €
Actuaciones de reutilización de aguas residuales en Almería			
Conexión presa Cuevas de Almanzora-Poniente Almeriense (Sector Norte)			
Mejora de las infraestructuras hidráulicas de los riegos de la zona de Poniente de Adra			
Conducciones en la zona regable del embalse de Cuevas de Almanzora			
Conducción Boca Sur del Túnel de El Saltador-Camino del Cerro Minado (Almanzora)			
Modernización de la infraestructura hidráulica de los regadíos de la comarca de Los Vélez			

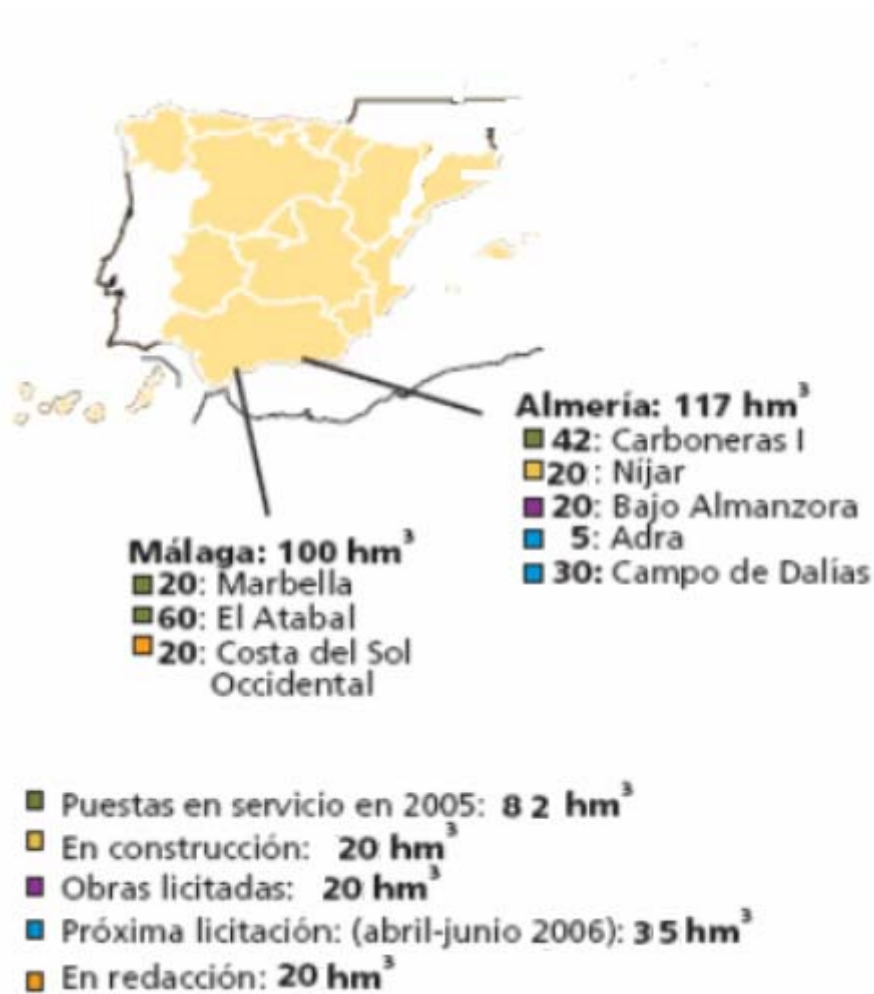
**Tabla 30.- Actuaciones para la calidad del agua en Almería.** Elaboración propia. Fuente: Ingeniería Civil y Medio Ambiente, 2007.

En la provincia de Málaga El Programa A.G.U.A. tiene previsto invertir en esta provincia 227 millones de euros destinados a 5 actuaciones dirigidas a lograr aumentar los recursos hídricos en 125 hm<sup>3</sup>/año. Entre las actuaciones se contempla la remodelación de la desaladora de Marbella y la reutilización de aguas residuales en la Costa del Sol y en la ciudad de Málaga.

Actuaciones	Objetivos	Incremento recursos	Presupuesto
Remodelación y puesta en servicio de la desaladora de Marbella	Mejora de la gestión de los recursos hídricos	50 hm <sup>3</sup> /año	70 millones €
Desalación de la costa del Sol			
Corrección de vertidos salinos al embalse de Guadalhorce	Mejora de la gestión de los recursos hídricos	75 hm <sup>3</sup> /año	157 millones de €
Reutilización de aguas en la Costa del Sol			
Reutilización de aguas residuales en la ciudad de Málaga 1ª fase			

**Tabla 31.- Actuaciones para la calidad del agua en Málaga.** Elaboración propia. Fuente: Ingeniería Civil y Medio Ambiente, 2007.

### 7.5.8.- Desaladoras en Andalucía



**Fig. 47.-** Estado ejecución de las plantas desalinizadoras en la cuenca mediterránea. Comunidad Andaluza. Elaboración propia. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, Programa A.G.U.A. 16 mayo, 2006.

Las desaladoras en situación a 16 mayo de 2006 en la Comunidad Andaluza son las siguientes, con una totalidad de 227 hm<sup>3</sup>/año:

- Carboneras I (Almería)
- Níjar (Almería)
- Adra (Almería)
- Bajo Almanzora (Almería)
- Campo de Dalías (Almería)
- Marbella (Málaga)

- El Atabal (Málaga)
- Costa el Sol Occidental (Málaga)

La siguiente Tabla muestra las desaladoras en la Comunidad Andaluza (Huelva, Sevilla, Córdoba, Jaén, Granada, Almería, Cádiz) y sus respectivos  $\text{hm}^3/\text{año}$  desalados.

Desaladoras	$\text{hm}^3/\text{año}$ de agua desalada
Carboneras I	42
Níjar	20
Adra	5
Bajo Almanzora	20
Campo de Dalías	30
Marbella	20
El Atabal	60
Costa del Sol Occidental	20

**Tabla 32.- Desaladoras en la Comunidad Andaluza con sus respectivos  $\text{hm}^3/\text{año}$  desalados.**  
Elaboración propia. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente 16 mayo, 2006.

#### **7.5.8.1.- Desaladora de Carboneras I, Alicante.** ( $42 \text{ hm}^3/\text{año}$ , inaugurada en el 2004)

La planta desaladora de Carboneras ofreció unos 300.000 metros cúbicos de agua en su primer mes de funcionamiento. El agua se ha destinado al abastecimiento del levante almeriense.

Esta infraestructura tiene en marcha uno de los 12 bastidores de los que dispone, con capacidad de ofrecer hasta  $10.000 \text{ m}^3/\text{día}$  por cada uno de ellos, siendo éste el máximo volumen que puede admitir la red de distribución hasta el momento.

Estos nuevos recursos han servido para garantizar parte de las necesidades de abastecimiento de esta zona almeriense, cuya distribución se realiza a través de la red de canalización de Galasa.

La planta desaladora, que va a poder tratar un volumen de agua en torno a los 120.000 metros cúbicos diarios, está preparada para poder destinar agua tanto al regadío como al abastecimiento urbano y turístico. Para ello cuenta con sistemas de



postratamiento del agua desalada que permiten obtener la calidad del agua requerida en cada caso.

Esta actuación, cuya inversión supera los 1,5 millones de euros, permitirá ofrecer agua procedente de la desaladora de Carboneras a los regantes de la Comunidad de Usuarios del Campo de Níjar, adaptando la red de distribución del agua en alta a la propia red de los regantes.

Esta desaladora recoge las siguientes obras:

- 20 conexiones hidráulicas para el riego a la conducción principal “Almanzora Poniente, Fase I”.
- 13 nuevas líneas eléctricas de baja tensión y dos líneas de alta tensión, que ofrecerán la energía suficiente para realizar las distintas operaciones de las válvulas y automatismos que van a ser colocados.
- Un conjunto de 12.100 membranas, repartidas en 12 bastidores que son las encargadas de eliminar estas sales.

La desaladora de Carboneras ha sido diseñada con los mayores adelantos técnicos en materia de desalación que existen actualmente. Uno de los avances de esta infraestructura es la capacidad de recuperación energética, para lo que utiliza la presión del agua de rechazo para auto generarse, obteniendo un importante ahorro energético.

Además, desde el punto de vista ambiental, al enviar el agua de rechazo a través del canal de refrigeración de la central térmica, se diluye la concentración de sales hasta alcanzar casi los mismos niveles que en su captación.

También desde la planta desaladora de Carboneras se está impulsando el desarrollo de proyectos que permitan ofrecer mayores recursos a zonas de la provincia almeriense que en la actualidad ven limitada su capacidad de desarrollo ante la falta de agua.

Éste es el caso del Levante almeriense, y la comarca del Campo de Tabernas, en el que la Sociedad Estatal, Aguas de las Cuencas Mediterráneas, ACUAMED, tiene firmada una serie de acuerdos para establecer las conducciones hasta estas zonas de la provincia.

En el caso del Levante almeriense, se ha establecido con la empresa suministradora de agua del Levante, GALASA, esta colaboración para poder conducir el agua por todo el Levante almeriense desde la propia planta de Carboneras, garantizando nuevos aportes a estos municipios, que en época estival crece su población de forma ostensible, pudiendo alcanzar los 200.000 habitantes.

Para la Comarca de Tabernas, se ha comenzado el estudio de una conducción que partirá desde la Venta del Pobre hasta esta zona del interior de la provincia, en el que el agua se destinará tanto a riego como al abastecimiento urbano. En esta iniciativa se han sumado tanto los 7 ayuntamientos de la comarca: Gérgal, Lubrín, Lucainena de las Torres, Sorbas, Tabernas, Tahal y Uleila del Campo, como dos usuarios privados, como son la Asociación para el Desarrollo del Olivar Almeriense y Hoteles Playa.

La planta desaladora de Carboneras se convierte así en un referente de garantía de abastecimiento de agua en diferentes zonas de la provincia, y en una de las más infraestructuras hidráulicas que van a mejorar la capacidad de desarrollo económico almeriense.

### 7.5.8.2.- Otras desaladoras en Almería

Las desaladoras restantes están en construcción y en próxima licitación. Cabe destacar que todas las plantas restantes de Almería utilizan también la técnica por Ósmosis inversa y la captación la hacen de agua de mar.

Desaladora	Estado de Ejecución	hm <sup>3</sup> /año	Tecnología	Captación
Níjar	En construcción	20	OI	Agua de mar
Adra	Próxima licitación	5	OI	Agua de mar
Bajo Almanzora	Próxima licitación	20	OI	Agua de mar
Campo de Dalías	Próxima licitación	30	OI	Agua de mar

**Tabla 33.-** Estado de las desaladoras de Almería. Elaboración propia. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente. 16 de mayo de 2006.

### 7.5.9.- Desaladoras de Málaga

Las dos desaladoras que están en marcha son la de Marbella con una producción de 20 hm<sup>3</sup>/año y la de El Atabal con una producción de 60 hm<sup>3</sup>/año. La desaladora restante La Costa del Sol Occidental es la que está en redacción, con una producción de 20 hm<sup>3</sup>/año.

#### **7.5.9.1.- Desaladora El Atabal**

En esta instalación, ubicada en el noroeste de Málaga, se tratan las aguas de los embalses que abastecen a la ciudad. Su capacidad de tratamiento es de 2.500 l/s. Consta de tres decantadores y veinte filtros de gravedad. En sus instalaciones se encuentra la nueva Planta Desaladora de El Atabal.

Esta planta desaladora garantiza el abastecimiento de agua de calidad a la ciudad gracias a esta nueva instalación desaladora que está considerada como la más importante del mundo para abastecimiento urbano, ya que tiene capacidad para suministrar un volumen de 165.000 m<sup>3</sup> diarios. Se trata de una de las actuaciones de más envergadura del Plan Global de Actuaciones Hidráulicas Prioritarias de la Provincia de Málaga, más conocido como Plan Málaga, gestionado por la Sociedad Estatal Aguas de la Cuenca del Sur, ACUSUR.

La Planta Desaladora ofrece agua de calidad a la ciudad de Málaga, empleando el procedimiento de ósmosis inversa para el tratamiento de agua salobre.

#### **7.5.9.1.- Desaladora de Marbella**

Se dotará a la planta de las dos últimas líneas para que produzca 56.400 metros cúbicos de agua al día. Acosol asegura que esta infraestructura garantiza que ahora no haya restricciones en el consumo. La planta desaladora de río Verde, ubicada en Marbella, se pondrán en marcha las dos últimas líneas, que permitirán producir hasta 56.400 metros cúbicos diarios, ya que cada una de sus ocho líneas pueden aportar 7.050 metros cúbicos al día en condiciones óptimas. Por cada 100 litros de agua cogida del mar, 45 se desalinizan y se trasladan a la Estación de Tratamiento de Agua Potable para su distribución a la red, el 55 por ciento restante vuelve al mar sin adulteración de ningún tipo. Desde Acosol, se reitera que la aportación de agua desalada a la red de abastecimiento de la Costa del Sol Occidental nunca supondrá más de la tercera parte del total necesario para la comarca.

Municipios favorecidos: Manilva, Casares, Benahavís, Estepona, Marbella, Istán, Ojén, Mijas, Benalmádena, Fuengirola y Torremolinos.

Coste: Unos 42 millones de euros. La ausencia de lluvias, sumado a un consumo elevado de agua en el verano, coincidiendo con la masiva llegada de visitantes, amenaza con llevar a la Costa del Sol Occidental a una situación límite. Todos esperan ansiosos la llegada de un nuevo ciclo de precipitaciones para que los embalses y otros acuíferos, que están actualmente bajo mínimos, puedan recuperar su nivel. Acosol, la empresa pública dependiente al cien por cien de la Mancomunidad de Municipios de la comarca costasoleña, asegura que la desaladora de Marbella, convertida este verano en una garantía para el abastecimiento de los once municipios mancomunados, funcionará a pleno rendimiento a principios de este mes, cuando está prevista la ampliación de seis a ocho las líneas de producción puestas en marcha. Una medida que permitirá incrementar en un 20 por ciento más la producción actual de agua desalada hasta alcanzar el 100 por cien, al pasar de los 40.000 metros cúbicos que trata al día a los 56.400 metros cúbicos para los que está capacitada, ya que cada una de sus ocho líneas puede aportar 7.050 metros cúbicos en condiciones óptimas.

## 7.6.- Conclusiones

En este apartado se ha analizado la situación de la utilización de las plantas desaladoras en la cuenca mediterránea. Primero estudiando características fundamentales para ponernos en situación, como geografía, climatología, vegetación, economía, recursos hídricos y población. Y posteriormente la situación de las desaladoras en cada comunidad autónoma de la cuenca mediterránea.

El gran incremento del turismo y de población, sobre todo en Cataluña y Andalucía, ha provocado la instalación de nuevas plantas desaladoras, no sólo como se ha comentado anteriormente, por falta de recursos hídricos naturales, sino también para intentar mantener los actualmente existentes.

Cabe destacar que la primera planta desaladora se construyó en Lanzarote en 1960, así que podemos decir que el archipiélago de Las Islas Canarias son las pioneras en este tipo de tecnología de desalar agua del mar y salobre. Sobre todo en las islas por el gran turismo que hay, el agua desalada va a parar al abastecimiento, siendo el resto para el uso agrícola (riego).

Comentar como dato que Canarias es sin duda la primera región en número de plantas instaladas y de capacidad de agua disponible por desalación en toda España, con plantas que permiten una capacidad media de entre 1.000 y 5.000 m<sup>3</sup>/día. Lanzarote prácticamente toda el agua producida por las plantas desaladas es para abastecimiento (de la población y turístico), muy similar a lo que ocurre en Fuerteventura.

Cada vez más el uso de las plantas desaladoras en la Cuenca del Mediterráneo es más corriente. La primera planta desaladora de la cuenca se instaló en Málaga (Marbella) en 1997, en estos pocos años han ido incrementando las plantas desaladoras hasta un total de 26 (Ministerio de Medio Ambiente) y las que aún quedan para un futuro que están en estudio, licitación o construcción.

En esta zona del Mediterráneo prácticamente toda el agua producida viene por la captación de agua de mar. Haciendo un porcentaje con las plantas que ahora mismo están puestas en servicio, sería un 95% de plantas por captación de agua de mar y un 5% de plantas por agua salobre.

La tecnología que predomina más en la costa es la de ósmosis inversa, utilizando ésta ya que es por ahora la más asequible en relación coste de energía y agua desalada. Con una capacidad de desalación media entre 10-40 hm<sup>3</sup> anuales y podemos decir que casi toda el agua desalada que se extrae de las plantas es para uso exclusivamente urbano.

Actualmente hay más concienciación por los problemas medioambientales que provocan las plantas desaladoras, con más leyes que controlan los vertidos de la salmuera. Hay muchos estudios todavía por hacer para poder examinar con precisión los efectos de la salmuera en la vegetación marina.

La utilización de energías sostenibles como pueden ser la solar y la eólica, favorecen los nuevos proyectos de plantas desaladoras que utilizan dichas energías.

Aunque el método más utilizado vemos que en la Cuenca Mediterránea es el de Ósmosis Inversa, se ha estudiado que el método más apropiado se puede definir en función de la calidad del agua a tratar, del uso que se le quiera dar al agua tratada y de las posibilidades económicas y energéticas de la región.

La siguiente Tabla muestra las actuaciones en las principales Cuencas del Mediterráneo, mostrando los recursos obtenidos en  $\text{hm}^3/\text{año}$ .

<b>RECURSOS OBTENIDOS <math>\text{hm}^3/\text{año}</math></b>				
<b>CUENCA</b>	<b>ACTUACIONES ALTERNATIVAS</b>			
	Ahorro y mejora de la gestión	Reutilización	Desalación y desalobración	<b>TOTAL</b>
<b>CUENCA DEL SUR</b>	17	80	215	<b>312</b>
<b>CUENCA DEL SEGURA</b>	45	25	266	<b>336</b>
<b>CUENCA DEL JÚCAR</b>	126	74	70	<b>270</b>
<b>CUENCAS DE CATALUÑA</b>	65	10	70	<b>145</b>
<b>TOTAL</b>	<b>253</b>	<b>189</b>	<b>621</b>	<b>1.063</b>

**Tabla 34.- Recursos obtenidos en la cuenca del Mediterráneo,  $\text{hm}^3/\text{año}$ .** Elaboración propia.  
Fuente: Actuaciones urgentes del programa A.G.U.A en las cuencas Mediterráneas, 2006.

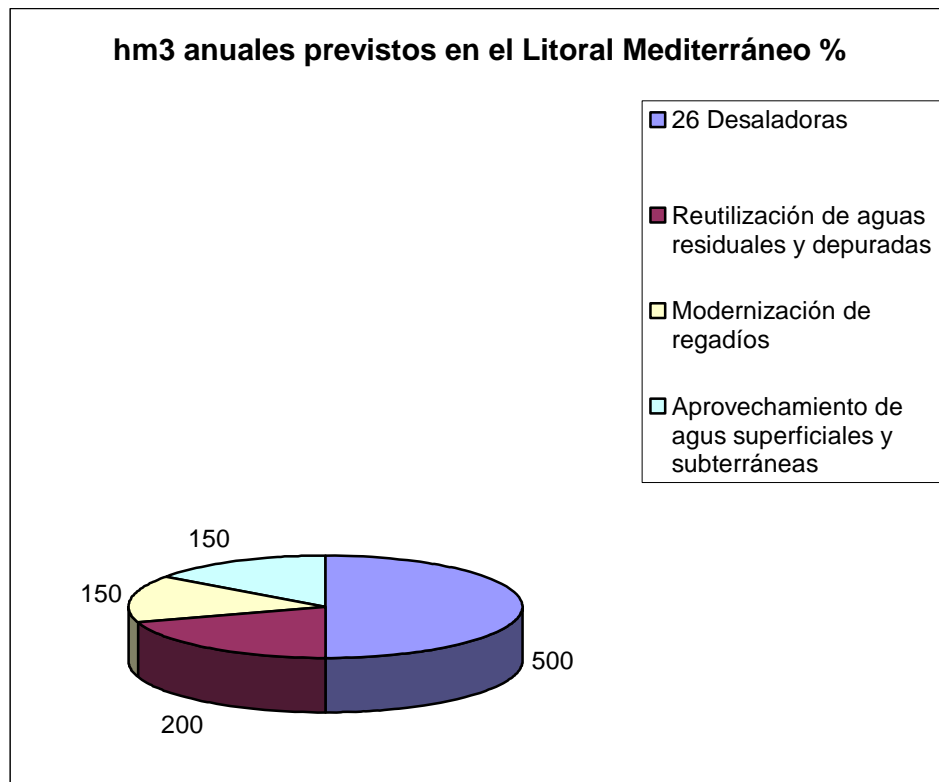


Desaladoras	hm <sup>3</sup> /año	Sistema	Origen	Año	Destino
Ampliación de La Tordera	10	OI	Mar	Próx.Licitación	Urbano
San Pedro del Pinatar I	24	OI	Mar	2005	Urbano Regadío
Ampliación Alicante I	6	OI	Mar	2005	Urbano
Valdelentisco	50	OI	Mar	En construcción	Regadío
San Pedro del Pinatar II	24	OI	Mar	En construcción	Urbano Regadío
Alicante II	24	OI	Mar	En construcción	Urbano
Águilas/Guadalestín	40	OI	Mar	Próx.Licitación	Urbano
Ampliación Águilas	5	OI	Mar	Próx.Licitación	Regadío
Ampliación Mojón	4	OI	Salobre	Próx.Licitación	Urbano Regadío
Torrevecija	80	OI	Mar	Próx.Licitación	--
Denia	9	OI	Mar	Próx.Licitación	Urbano
Campello/Mutxamel	18	OI	Mar	Información Pública	--
Vega/Baja	20	OI	Mar	Redacción	--
Javea	10	OI	Mar	Redacción	Urbano

Moncófar	15	OI	Mar	Información Pública	Urbano Agrícola
Oropesa	8	OI	Mar	Información Pública	Urbano
Barcelona	60	OI	Mar	Licitación	Urbano
Sagunto (Valencia)	8	OI	Mar	Información Pública	Urbano
Carboneras I	42	OI	Mar	2004	Urbano Regadío
Níjar	20	OI	Mar	En construcción	--
Adra	5	OI	Mar	Próx.Licitación	--
Bajo Almanzora	20	OI	Mar	Próx.Licitación	--
Campo de Dalías	30	OI	Mar	Próx.Licitación	--
Marbella	20	OI	Mar	1997	Urbano
El Atabal	60	OI	Salobre	2005	Urbano
Costa del Sol Occidental	20	OI	Mar	Redacción	Urbano

**Tabla 35.-** Listado de plantas desaladoras en la cuenca mediterránea. Elaboración propia.  
Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Confederación Hidrográfica del Júcar, 2007.

La siguiente Gráfica muestra los  $\text{hm}^3$  anuales previstos con diferentes actuaciones.



**Gráfica 28.-**  $\text{hm}^3$  de agua previstos en el Litoral Mediterráneo. Elaboración propia. Fuente: HISPAGUA, 2006.

Como se puede observar en la gráfica anterior, se tiene previsto que en un futuro, el mayor volumen de agua en  $\text{hm}^3$ , sea gracias a las plantas desaladoras. Obteniendo más hectómetros cúbicos que la reutilización de plantas depuradores y residuales.



**Gráfica 29.-** *Usos del agua desalada en la cuenca del mediterráneo.* Elaboración propia.  
Fuente: Acuamed (agua de las cuencas del mediterráneo), 2006.

Tal como se muestra en la gráfica 29, va destinada gran parte del agua desalada al sector urbano-turístico. Un 30% para uso agrícola y un 70% para uso urbano.

## **8.- IMPACTOS DE LAS DESALADORAS EN LA CUENCA MEDITERRÁNEA**

## 8.- Impactos de las desaladoras

La instalación de las desaladoras tiene ciertos impactos que se analizarán y explicarán, clasificados en 4 tipos de aspectos, a veces puede resultar fácil mezclar las explicaciones de los tipos, se puede suponer que una explicación es mejor colocarla en un tipo o en otro. Estos son los principales aspectos:

- Aspecto social.
- Aspecto económico.
- Aspecto político.
- Aspecto medioambiental.

El de más difícil solución y mas grave es el medioambiental y puesto que este Proyecto trata sobre la sostenibilidad, me extenderé más en este tipo de impacto. El impacto social parte de la desinformación de los ciudadanos, que es relativamente fácil arreglarlo, en el económico se habla sobre los costes, inversiones, repercusiones a la sociedad... y en lo que respecta a lo político, no es mas que otro tema de discusión entre lo partidos políticos. Estos tres impactos no tienen consecuencias desastrosas como la cuestión medioambiental (emanación de gases tóxicos, salmuera, gasto de energía, alteración del litoral, desaparición de ciertas especies marinas...) es por ello que lo considero un impacto muy importante a desarrollar.

La siguiente Tabla muestra los impactos comunes de obra y funcionamiento de las plantas desaladoras, junto con las medidas preventivas y correctoras propuestas para la minimización de los mismos.

ELEMENTO DEL MEDIO	IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS Y RIESGOS AMBIENTALES	FASE DE APARICIÓN	MEDIDAS PROPUESTAS
ATMÓSFERA	Disminución de la calidad del aire y contaminación acústica.	Fase de obra	Medidas preventivas adoptadas: - Regar los materiales y cubrir las cajas de los camiones que transporten tierras. - Revisar el correcto estado de la maquinaria (ITV y CE).
HIDROLOGÍA SUPERFICIAL	Alteración de la hidrodinámica superficial.	Fase de obra	Medidas preventivas adoptadas: - Elección del emplazamiento de las instalaciones temporales adoptando criterios ambientales. - Gestionar los residuos generados durante la obra y durante la fase de funcionamiento. - Delimitar el perímetro de la obra. - Realizar reparaciones y mantenimiento de maquinaria en zonas impermeabilizadas.
	Contaminación de los cursos de agua superficial.		
HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA	Alteración de los flujos subterráneos.	Fase de obra y fase de explotación	Medidas preventivas adoptadas: - Evitar acopios fuera de la zona reservada para ellos. - Realizar reparaciones y mantenimiento de maquinaria en zonas impermeabilizadas. - Gestionar los residuos generados durante la obra y durante la fase de funcionamiento.
	Contaminación de acuíferos.		
	Alteración del nivel freático.		
GEA Y SUELO	Dstrucción del perfil edáfico, contaminación y erosión.	Fase de obra y fase de explotación	Medidas preventivas adoptadas: - Evitar acopios fuera de la zona reservada para ellos. - Gestionar la tierra vegetal. - Gestionar los residuos generados durante la obra y durante la fase de funcionamiento.
VEGETACIÓN	Eliminación de la vegetación.	Fase de obra	Medidas preventivas y correctoras adoptadas: - Disponer de planes de protección de incendios. - Revegetar las zonas por las que discurran las conducciones una vez adaptadas las zanjas.
	Peligro de incendios.		
	Fragmentación del hábitat.		
FAUNA	Desplazamiento espacial de especies por destrucción o fragmentación de hábitats.	Fase de obra	Medidas preventivas adoptadas: - Realizar el desbroce fuera de las épocas de reproducción de las especies de mayor interés. - Delimitar el perímetro de la obra.
MEDIO MARINO	Dstrucción y alteración de las comunidades bionomiales.	Fase de obra y fase de explotación	Medidas preventivas adoptadas: - El diseño del emisario, la batimetría de la zona y las corrientes predominantes, alejan el vertido de la costa y de las praderas de fanerógamas existentes.
PAISAJE	Ocupación del suelo	Fase de obra y fase de explotación	Medidas preventivas adoptadas: - Jalonar adecuadamente las zonas de obras, ocupando el menor espacio posible.
PATRIMONIO CULTURAL	Afección a las vías pecuarias.	Fase de obra y fase de explotación	Medidas preventivas y correctoras adoptadas: - Presencia de un arqueólogo a pie de obra. - Medidas particulares encaminadas a proteger los elementos afectados.
	Afección a elementos patrimoniales inventariados.		

**Tabla 36.- Impactos comunes de obra y funcionamiento de las plantas desaladoras.** Fuente: Acuamed (Aguas de las Cuencas Mediterráneas), 2006.

## 8.1.- Aspecto Social

La disponibilidad de agua de suficiente calidad es un factor de gran importancia que condiciona el desarrollo de cualquier región, ya que resulta imprescindible tanto para el desarrollo demográfico, como para el industrial y el agrícola. En tiempos recientes, la escasez de las precipitaciones en una buena parte del territorio español puso de manifiesto, de forma dramática en algunos casos, las consecuencias tan perniciosas que conlleva la falta de agua. Aunque en España no ha habido hasta hace poco una clara concienciación colectiva sobre la gravedad de este problema, existen muchas otras zonas de nuestro planeta que lo han estado padeciendo desde hace muchos años. Sin embargo, aunque la escasez de agua de calidad no es un problema nuevo en nuestro planeta, no ha empezado a tener una repercusión socioeconómica importante en España hasta hace pocos años.

Expertos en el tratamiento y gestión del agua han pronosticado que, como consecuencia del cambio climático, por cada grado centígrado que aumente la temperatura, se incrementará de un 1,5 a un 3% el consumo en España, por lo que un municipio medio debería aumentar en un 2% sus inversiones en capacidades hidráulicas.

La coordinadora de Análisis Económico para la Directiva Marco del Agua del Ministerio de Medio Ambiente, Josefina Maestu reveló que en 1995, en España unos 12 millones de habitantes sufrieron restricciones de agua sobre todo en Sevilla, Cádiz y Palma de Mallorca. Además, entre 1992 y 1996 la rebaja de caudal la cuenca del río Júcar disminuyó el empleo en la zona y supuso una pérdida de 70 millones de euros.

Además, un 65 % de la población española padecerá en 2030 de «estrés hídrico» como consecuencia de los efectos del cambio climático en las reservas de agua, según explicó el presidente del Comité Internacional de Grandes Presas (ICOLD), Luis Berga. Según Berga, el aumento de la población y las irregularidades temporales hacen de España un país especialmente vulnerable al impacto del cambio climático. En la actualidad España ocupa el puesto 117 en recursos hídricos de una lista de 180 países en los que se cuantifican por metros cúbicos por persona y año y un 36 % de su población padece estrés hídrico.



Por su parte, Marta Morén, representante de la Comisión Europea, explicó que el cambio climático no sólo disminuirá de forma significativa las reservas de agua sino que además «hará cada vez más complicado el aprovechamiento de la lluvia al ser las precipitaciones más violentas» Por esta razón, señaló que «una de las prioridades para la Comisión Europea es la optimización del uso y reutilización del agua, así como la mejora de las redes y la racionalización de la demanda».

Con esta explicación queda claro que la sociedad tiene miedo a la escasez de agua, pero no se puede medir fácilmente el impacto de las desaladoras en la sociedad actual porque hay un gran desconocimiento por parte de la población, en general no son nada conocidas las ventajas y desventajas que traen las desaladoras. En ellas se ve una solución al problema de la falta de agua, no miran mas allá de obtener agua potable del mar, y ésta es una cuestión que es mucho más compleja que eso. La ciudadanía debería de preguntarse cuales son los beneficios y las desventajas de todo el proceso, pero esto es algo, a veces excesivamente técnico.

## 8.2.- Aspecto Económico



**Fig. 48.-** Tuberías de captación de agua de mar de la desaladora de Carboneras. Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007.

El coste del agua desalada no es tal según algunos expertos en la materia porque el coste del agua obtenida por métodos de desalación es perfectamente asumible por la población (salvo para el uso agrario, como se explicará más adelante citando un ejemplo de Almería). Los costes se pueden agrupar en:

- Captación del agua del mar.
- Pretratamiento
- Ósmosis inversa (menciono ésta por ser la mas utilizada)
- Tratamiento de afino
- Bombeo al exterior del agua producida
- Evacuación de la salmuera de rechazo
- Tratamiento de efluentes
- Electricidad
- Obra civil

<b>Costes</b>	<b>Fijos</b>	Amortización
		Personal de operación
		Término de potencia
		Mantenimiento y conservación
		Administración
		Varios
	<b>Variables</b>	Productos químicos
		Mantenimiento y conservación
		Energía eléctrica
		Reposición de membranas y cartuchos
		Renovación de equipos

**Tabla 37.- Agrupación de los costes de desalación.** Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007.

La inversión requerida para construir una desaladora determinada depende mucho de su tamaño. La inversión específica (inversión necesaria para cada m<sup>3</sup>/día de producción) disminuye a medida que aumenta el tamaño de la planta, lo que quiere decir que el factor escala juega un papel importante en la inversión. Por esta variación de precios es difícil determinar si el impacto económico es elevado o no, todo depende de las ventajas o desventajas con que lo comparemos. Es evidente que el impacto no es negativo si el coste lo comparemos con los puestos de trabajo creados, ya sea para la

construcción o mantenimiento de la planta, la capacidad de tener agua a pesar de la sequía etc.,.

<b>Inversión requerida para la construcción de una gran desaladora de agua de mar (IVA incluido)</b>		
<b>Inversión requerida (Euros)</b>	<b>Por cada m<sup>3</sup>/día</b>	<b>Por m<sup>3</sup> y año</b>
Más barata	668	1,87
Media	740	2,06
Más cara	875	2,44

**Tabla 38.-** Inversión requerida en € de una desaladora de agua de mar. Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007.

Para que el impacto económico fuese menor y cubrir la demanda de abastecimiento urbano, debe estudiarse de forma individualizada y concienzuda la localización y dimensionamiento de plantas desaladoras y de reutilización de aguas residuales.

A continuación expondré el ejemplo de Almería para ver como no es asumible es coste del agua desalada para el cultivo: la creciente salinidad de los acuíferos es un hecho evidente, que tendrá consecuencias muy negativas para el desarrollo de la provincia si no se toman las medidas adecuadas para prevenirlo. Esta creciente salinidad es fruto de diversos factores como el creciente déficit hídrico de la región e incorporación a los acuíferos de una creciente cantidad de sales como consecuencia de los cultivos intensivos.

Las consecuencias de este problema pueden llegar a colapsar su desarrollo, ya que daña de forma grave al sector agrícola e industrial. La creciente salinidad de los acuíferos esta dando lugar a un basculamiento del sector agrícola hacia aquellos cultivos que son más resistentes a la salinidad del agua, lo que llegara a provocar una saturación del mercado, con la consiguiente perdida de rentabilidad para el sector. Puesto que una buena parte del sector industrial en Almería gravita en torno a la agricultura, cualquier retroceso en este sector va a provocar un efecto similar en la actividad industrial, disminuyendo el nivel de vida y de ocupación de la población. Para el uso agrícola habría que analizar varios factores, entre ellos:

- La implementación de procesos de desalación económicos. La principal dificultad en el ámbito agrícola es la imposibilidad de implementar procesos de

desalación cuyo coste sea prohibitivo para la rentabilidad de los cultivos. Dados sus elevados consumos de agua, el sector agrícola no puede pagar un precio alto por el agua desalada, requiriendo procesos de desalación baratos y eficientes. Procesos de desalación que presentan unos costes no prohibitivos para el sector doméstico e industrial, resultan prohibitivos para la agricultura.

En febrero de año pasado, el director general de Acuamed, Adrián Baltanás, se reunió en Murcia con los alcaldes y regantes de Águilas, Lorca, Puerto Lumbreras (Murcia) y Pulpí (Almería). Baltanás presentó un borrador del *Convenio para la financiación y explotación de la desaladora de Águilas entre Acuamed, la confederación del Segura, las comunidades de regantes y la mancomunidad de canales del Taibilla*, fechado el 15 de febrero. El texto, de 10 páginas, es crucial, porque es el último paso para construir la desaladora, una de las 20 que sustituirán al derogado trasvase del Ebro. El documento establece que “las tarifas se establecerán —de forma provisional— previamente a la adjudicación por parte de Acuamed del contrato de construcción”. Acuamed (Aguas de Cuencas del Mediterráneo), empresa creada para ejecutar la mayoría de las obras del plan alternativo del Gobierno, necesita saber cuánta agua usará cada comunidad de regantes, según fuentes de la empresa. La propuesta fija un precio de 0,3 euros por metro cúbico en la desaladora, que se actualizará con la inflación. A ese precio hay que sumarle el coste de subir el agua hasta las parcelas y un aval de tres años. Según expuso Baltanás, y confirman fuentes de la empresa, eso supone un sobrecoste de 0,2 euros por metro cúbico, porque hay que bombear el agua y amortizar las canalizaciones. En total, Medio Ambiente propone un precio de medio euro por metro cúbico. Aunque Baltanás abrió la puerta a alguna subvención, la directiva marco del agua europea obliga a cargar el coste de la obra sobre los usuarios.

Ese precio supone que por cada hectárea de naranja, el agricultor pague unos 5.000 euros de agua al año. Actualmente, el agua del Tajo que llega a Murcia por el trasvase cuesta 0,09 euros por metro cúbico, según el presidente de los regantes del trasvase, Francisco del Amor. Este sindicato ha pagado a 0,18 euros el metro cúbico a los regantes de Estremera (Madrid) a cambio de su concesión de agua y afirma que a 0,5 euros sólo son rentables unos pocos cultivos.

Siguiendo con la economía, nos podríamos hacer la siguiente pregunta:

- ¿Sector público o sector privado, quien lo gestionara mejor?

Nadie duda hoy en día en el sector de la determinación de la Administración en hacer una realidad el programa A.G.U.A. (Actuaciones para la Gestión y la Utilización del Agua) en el menor plazo posible. Se abren, por tanto, mejores expectativas de negocio para las constructoras tecnológicas medioambientales nacionales que han hecho de España, gracias fundamentalmente a la iniciativa pública, uno de los países con mayor capacidad de desalación, y que pueden llevar a corto/medio plazo a ser la gran referencia mundial en tecnologías aplicadas de membranas, triplicando dicha capacidad y pasando de los 300 hm<sup>3</sup>/año actuales a casi mil.

Por tanto, podemos decir que el reto que se plantea el sector del agua en España es precisamente el de la compatibilidad de la capacidad pública para gestionar las necesidades de la nueva política del agua, con la capacidad empresarial nacional (especialmente las de mayor carácter tecnológico) para gestionar las infraestructuras concretas que se pondrán en marcha con el nuevo programa y la habilidad de ambos agentes (público y privado) para acordar un marco que satisfaga a todos en cuanto a los modelos de contratación pública que se produzcan y sus formas de financiación.

La Administración pública podrá optar para la construcción de este tipo de infraestructuras por dos modelos:

2) Aportación de la financiación por la Administración pública:

- Financiación de la construcción. (Contrato EPC).
- Firma de contrato de Operación y Mantenimiento. (Contrato O&M).

La financiación sería aportada por la Administración pública, bien directamente o bien mediante la sociedad pública Acuamed, que se encargaría de gestionar la financiación con las entidades financieras, pudiéndose optar por esquemas financieros que permitan sacar activos de su balance (fondos de titulización).

## 2) Aportación de la financiación por la iniciativa privada (total o parcial):

- Esquema concesional en el que la inversión neta (una vez deducidas posibles subvenciones) se recupera por la explotación de la infraestructura por un plazo determinado.
- La Administración, en algunos casos, puede apostar por fórmulas mixtas (Public Private Partnership), en las que formará parte también de la sociedad concesionaria (ver ejemplo argelino), o bien aportando fondos públicos (nacionales o europeos) al proyecto.
- En este supuesto cobra especial importancia el plazo de vida útil estimado de las plantas; hasta ahora se habían venido considerando plazos de 10-15 años, si bien actualmente se ha ampliado tal plazo hasta 25 años, con la correspondiente mejora de la tarifa a repercutir para la recuperación de la inversión.

Por que podemos apreciar son factibles varias opciones, pero cabría pensar que el trabajo conjunto sería beneficioso para todos. Ante el inminente recorte de las fuentes de financiación que supondrá la eliminación de algunos fondos comunitarios, la limitación que tienen los presupuestos de las distintas administraciones españolas y las restricciones existentes al endeudamiento público por contención del déficit, la apuesta por un mayor porcentaje de financiación privada puede ser una solución viable para sacar adelante el programa de desalación español. Si esto es así, fórmulas de implicación directa de la Administración en las sociedades específicas de proyecto pueden suponer la garantía adicional necesaria para la atracción de más capital privado a estas infraestructuras no tradicionales del agua.

Al menos una parte de las construcciones de plantas desaladoras ya se han adjudicado, con lo cual es obvio que la unión pública-privada es una opción factible. La sociedad Aguas de las Cuencas Mediterráneas (Acuamed), dependiente del Ministerio de Medio Ambiente, adjudicó ayer tres de las plantas desaladoras programadas en el programa Agua. En total y tras una inversión de 609 millones de euros, aportarán 160 hectómetros cúbicos anuales para el abastecimiento y la agricultura en Alicante, Murcia y Albacete.

Las adjudicatarias han sido FCC, Acciona y Ferrovial. La desaladora de Torrevieja (Alicante) ha ido a parar a la UTE Acciona Infraestructuras, Infilco Española, Pridesa Proyectos y Servicios, Roynmar por 297 millones. Ésta será la planta que mayor producción tenga en Europa, con 80 hectómetros cúbicos. La UTE Cadagua, formada por Ferrovial Agromán, Sacyr Sadyt, se encargará por su parte de la desaladora de Águilas/Guadalentín en Murcia, que generará 60 hm<sup>3</sup> al año con una inversión de 239 millones.

La tercera planta, la desalinizadora del Bajo Almanzora (Almería) será obra de la UTE FCC Construcción, Befesa Construcción y Tecnología Ambiental, Servicios Procesos Ambientales, Aqualia Gestión Integral de Agua. La inversión suma 73 millones y tendrá una aportación máxima de 20 hectómetros cúbicos anuales.

La construcción de las plantas se iniciará a finales de este año y se prevé que entren en servicio a lo largo de 2008. Todas ellas se basan en criterios de sostenibilidad económica, ambiental y social que garantizan la producción de recursos al margen de las condiciones meteorológicas. El programa Agua incluye 26 plantas, cuatro de ellas ya operativas, que aportarán un total de 612 hm<sup>3</sup>.

Este es un debate abierto y muy complejo, hay quienes opinan que las empresas privadas gestionan mejor los recursos, es decir que son más eficientes, y quienes opinan lo contrario.

### **8.2.1.- Costes de desalación**

Hasta hace algún tiempo se pensaba que la evolución tecnológica podía dejar obsoleta una planta desaladora en un plazo relativamente corto de tiempo, por lo que el período de amortización debía coincidir con el de la vida tecnológica (unos 15 años).

Dada la alta calidad y nobleza de los materiales utilizados en la construcción de las desaladoras de agua de mar (aceros inoxidables y resistentes a la corrosión del agua, bombas de cámara partida...), con lo que no sería extraño amortizar las desaladoras en 25 o 30 años y no en 15 años como se hace actualmente. Las siguientes tablas muestran los datos para una desaladora de Ósmosis Inversa.

Las siguientes Tablas muestran los cálculos de amortización para periodos de 15, 20, 25 y 30 años. Y se han considerado unos tipos de interés del 3, 4, 5, 6 y 7 %.

<b>CUOTA ANUAL NECESARIA PARA AMORTIZAR UN MILLÓN DE EUROS</b>				
<b>Tipo de interés (%)</b>	<b>Años de amortización</b>			
	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>30</b>
3	83.767	67.216	57.428	51.019
4	89.941	73.582	64.012	57.830
5	96.342	80.243	70.952	65.051
6	102.963	87.185	78.277	72.649
7	109.795	94.393	85.811	80.586

**Tabla 39.-** Evolución necesaria para amortizar un millón de euros. Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72, 2007).

<b>Coste del metro cúbico de agua desalada debido a la amortización (c€/m<sup>3</sup>)</b>				
<b>Inversión más barata</b>				
<b>Tipo de interés (%)</b>	<b>Años de amortización</b>			
	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>30</b>
3	15,66	12,57	10,74	9,54
4	16,82	13,76	11,97	10,81
5	18,02	15,01	13,27	12,16
6	19,25	16,30	14,63	16,59
7	20,53	17,65	16,05	15,07

**Tabla 40.-** Coste del metro cúbico del agua desalada debidos a la amortización, inversión barata. Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007.

<b>Coste del metro cúbico de agua desalada debido a la amortización (c€/m<sup>3</sup>)</b>				
<b>Inversión media</b>				
<b>Tipo de interés (%)</b>	<b>Años de amortización</b>			
	<b>15</b>	<b>20</b>	<b>25</b>	<b>30</b>
3	17,26	13,85	11,83	10,51
4	18,53	15,16	13,19	11,91
5	18,85	16,53	14,62	13,40
6	21,21	17,96	16,11	14,97
7	22,62	19,44	17,68	16,60

**Tabla 41.-** Coste del metro cúbico del agua desalada debidos a la amortización, inversión media. Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007.



<b>Coste del metro cúbico de agua desalada debido a la amortización (c€/m<sup>3</sup>)</b>				
Inversión cara				
Tipo de interés (%)	Años de amortización			
	15	20	25	30
3	20,44	16,40	14,01	12,45
4	21,95	17,95	15,62	14,11
5	23,51	19,58	17,31	15,87
6	25,12	21,27	19,09	17,73
7	26,79	23,03	20,94	19,66

**Tabla 42.-** Coste del metro cúbico del agua desalada debidos a la amortización, inversión cara.  
Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007.

<b>Costes fijos de operación (sin IVA)</b>	
Concepto	Importe por metro cúbico (c€)
Personal de operación	2,63
Mantenimiento y conservación	0,56
Término de potencia	1,57
Administración	0,14
Varios (seguros, licencias, análisis, etc.)	0,68
<b>TOTAL</b>	<b>5,58</b>

**Tabla 43.-** Costes fijos de operación (sin IVA). Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007.

<b>Distribución del consumo específico de energía en la desalación de agua de mar por Ósmosis Inversa</b>	
Concepto	Importe por metro cúbico (c€)
Captación y pretratamiento	0,6
Desalación propiamente dicha	2,6
Pérdidas y varios	0,1
Total a pie de desaladora	3,3
Bombeo exterior	0,3
<b>TOTAL en la cota +65,00 m</b>	<b>3,6</b>

**Tabla 44.-** Distribución del consumo específico de energía en la desalación (OI). Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007.

<b>Costes variables de operación (sin IVA)</b>	
<b>Concepto</b>	<b>Importe por metro cúbico (c€)</b>
Concepto	2,55
Productos químicos	1,98
Mantenimiento y conservación	20,45
Energía eléctrica	1,98
Reposición de membranas y cartuchos	0,57
<b>TOTAL</b>	<b>27,53</b>

**Tabla 45.-** Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72) 2007.

Los costes de operación, es decir, sin amortización, teniendo en cuenta los gastos generales (G.G), el beneficio industrial y el IVA serían los reflejados en la siguiente Tabla.

<b>Costes variables de operación (sin IVA)</b>	
<b>Concepto</b>	<b>Importe por metro cúbico (c€)</b>
Costes fijos	5,58
Costes variables	27,53
10 % G.G y beneficio industrial	3,31
Total sin IVA	36,42
7% IVA	2,55
<b>Coste total de operación y mantenimiento</b>	<b>38,97</b>

**Tabla 46.-** *Costes totales de operación.* Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007.

Considerando un tipo de interés del 4% que parece razonable y un período de amortización de 25 años, los costes totales del metro cúbico de agua desalada incluyendo el IVA, la amortización, los costes generales, el beneficio industrial, etc., serían los mostrados en la tabla siguiente.

<b>Coste de metro cúbico de agua desalada (IVA incluido)</b>			
<b>Concepto</b>	<b>Importe por metro cúbico (c€)</b>		
	Inversión barata	Inversión media	Inversión cara
Amortización	11,97	13,19	15,62
Operación y mantenimiento	38,97	38,97	38,97
<b>Coste total</b>	<b>50,94</b>	<b>52,16</b>	<b>54,59</b>

**Tabla 47.-** Coste del metro cúbico de agua desalada (IVA incluido). Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007.

La siguiente tabla muestra los distintos costes y los porcentajes que representan respecto al coste total de una desaladora con una inversión inicial media.

<b>Costes del agua desalada y porcentajes de participación</b>		
<b>Concepto</b>	<b>Coste (c€)</b>	<b>% respecto al precio total</b>
Personal de operación	2,63	5,04
Mantenimiento y conservación	2,54	4,87
Productos químicos	2,55	4,89
Reposición de membranas y cartuchos	1,98	3,80
Administración y varios	0,82	1,57
Renovación de equipos	0,57	1,09
Amortización financiera	11,37	21,80
Energía	22,02	42,22
G.G. y beneficio industrial	3,31	7,34
Total parcial	47,79	91,62
IVA	4,37	8,38

**Tabla 48.-** Costes del agua desalada y porcentajes de participación. Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007.

El plazo de amortización de todo lo expuesto, pueden sacarse las siguientes conclusiones.

El plazo de amortización de una desaladora de ósmosis inversa puede ser en estos momentos de 25 años, ya que no se visualiza en dicho plazo ningún proceso alternativo de desalación y las actuaciones tecnológicas son fácilmente implementables.

Según las amortizaciones anteriores se exige la necesidad de instalar materiales de alta calidad en todos los equipos: poliéster con fibra de vidrio y acero engomado para las tuberías y recipientes de baja presión etc., para equipos en contacto con agua del mar.

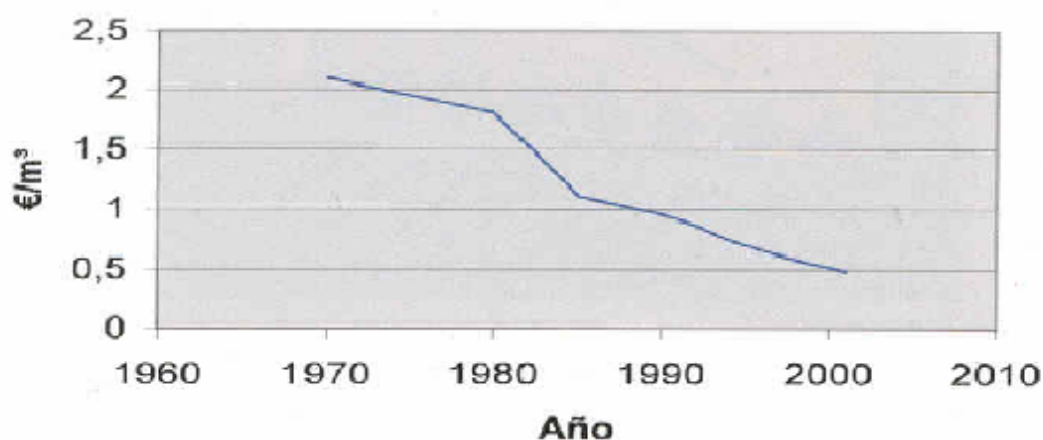
Aunque la repercusión porcentual de la amortización en el precio del metro cúbico de agua desalada era ligeramente inferior a la de la energía (35% frente al 43%), en ambos conceptos se diferencian en 20 puntos para este tamaño en plantas de Ósmosis Inversa.

La diferencia de realizar una desaladora con una inversión cara y otra con una inversión barata pueden representar del orden de un 7% del coste total del metro cúbico de agua desalada.

Actualmente el precio de la energía por metro cúbico de agua desalada sigue siendo elevado aunque ha ido disminuyendo cada año. Agua desalada barata, de momento solo se puede conseguir con energía barata.

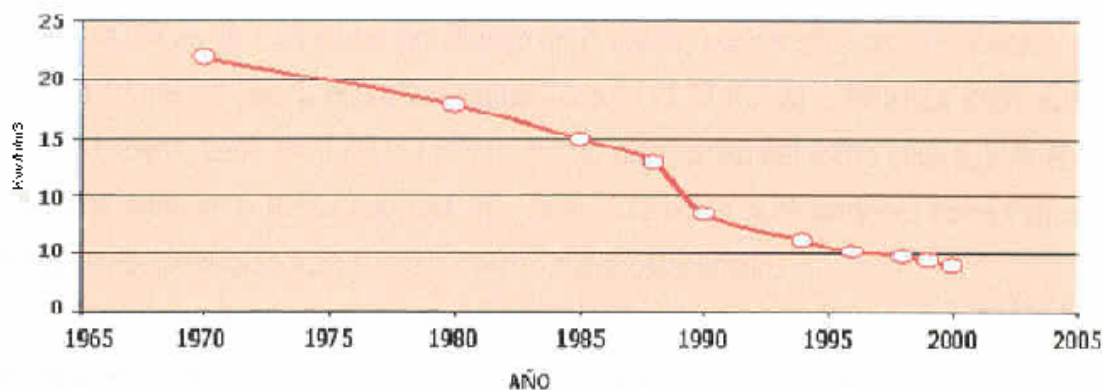
Las nuevas técnicas empleadas y mejoras realizadas en las plantas. Desaladoras (membranas, recuperación de energía, productos químicos, mantenimiento...) han generado una disminución muy importante del coste total del agua desalada. En las siguientes Gráficas se muestra la variación de los costes totales de agua de mar desalada ( $\text{€m}^3$ ) y la evolución de los consumos energéticos en las plantas desaladoras de agua de mar, en España.

### Variación de los costes totales del agua de mar desalada en España



**Gráfica 30.-** Variación de los costes totales del agua del mar desalada en España (€/m³) en España. Fuente: Costes económicos y medioambientales de la desalación de agua de mar. Dr. Manuel Latorre, 2004.

### Evolución de los consumos energéticos en España en plantas desaladoras de agua de mar



**Gráfica 31.-** Evolución de los consumos energéticos en las plantas desaladoras de agua de mar, en España. Fuente: Hispagua, 2005.

### 8.3.- Aspecto Político

Este tipo de aspecto, es decir, el que tiene que ver con la política de este país, no es más que los continuos enfrentamientos entre el partido político gobernante y la oposición (PP a favor del trasvase y el PSOE a favor de las desaladoras), o entre los detractores del trasvase frente a los de las desaladoras, aun siendo del mismo partido (como ejemplifico a continuación Borrell contra Narbona). No voy a profundizar en la política internacional (Kyoto...) porque no es parte de este proyecto, ya que al centrarme en las desaladoras del Mediterráneo considero más oportuno mencionar la política de este país.

Motivos de Borrell contra las desaladoras: Las razones que esgrimía entonces Borrell a favor de los trasvases chocan con la estrategia que sigue ahora la ministra Narbona, en su día número dos de Borrell: que las desaladoras para el suministro de agua de consumo humano en la Comunidad Valenciana o Cataluña “no tienen sentido, disponiendo, como se dispone, de flujos de agua mucho más cercanos, cuyo coste de suministro a través de infraestructuras de transporte sería muchísimo menor”, en aparente referencia al Ebro. Explicaba que el precio del metro cúbico del agua desalada que había previsto el Ministerio de Industria sería al final muy superior (hasta el doble) y que “conviene subrayar esto para tener clara conciencia de lo que estamos hablando y no levantar expectativas que pueden resultar totalmente infundadas...

Desalar agua de forma masiva no es un procedimiento que se pueda considerar viable para el sector productivo agrario, ni siquiera en las zonas de mayor rentabilidad del Mediterráneo”. Tras exponerle con ejemplos el coste mucho más elevado de la desalación frente al trasvase, Borrell apuntaba que “a pesar de esta desproporción de costes, si no se pueden hacer trasvases por razones políticas o ambientales la desalación es una opción que debe considerarse como alternativa”.

También aprovechaba Borrell para recordar que el agua producida por el método de la desalación “no es viable económicamente para ser utilizada como agua de riesgo sino sólo para abastecimiento humano”, al tiempo que le llamaba la atención sobre el “fuerte impacto ambiental” de la alternativa de la desalación “por su elevado consumo energético”. “No es posible una solución al problema del agua en España que excluya los trasvases” y responsabilizó a las comunidades autónomas de no efectuar sus

respectivos planes hidrológicos. Por el contrario la ministra Narbona indicó que su departamento está recuperando el tiempo perdido en Castilla-La Mancha, donde anteriores Gobiernos invirtieron poco en obras hidráulicas, y aseguró que el trasvase está siendo gestionado con prudencia, mientras que se están haciendo inversiones en la cuenca receptora, la del Segura.

Recordó que en esta cuenca hay ciudadanos que no han tenido hasta ahora otra alternativa para abastecerse de agua que el trasvase Tajo-Segura y explicó que el Gobierno está construyendo a 'gran velocidad' desalinizadoras que permitirán en un plazo de dos años sustituir parte del agua del trasvase que se destina a abastecimiento.

Narbona insistió en que el Gobierno tiene que gobernar para los ciudadanos de todas las comunidades autónomas y consideró muy oportuno que el agua vaya a ser uno de los asuntos que se aborde en la Conferencia de Presidentes del próximo mes de diciembre, pues es necesaria 'una reorientación de la política del agua en nuestro país'.

'Los trasvases son soluciones excesivamente conflictivas', dijo Narbona, que señaló que el PP actúa todavía en gran medida con una 'visión obsoleta' en esta materia, favorable a las grandes obras hidráulicas y a los trasvases, cuando 'el énfasis hay que ponerlo más en el control y en la gestión del agua'.

Para que quede constancia de que considero el impacto político una simple discusión entre partidos, a continuación introduciré fragmentos de una sesión del pleno de la junta de Castilla la Mancha (Febrero 2006):

1º.- Debate y votación de la Moción 06/0302-0007, presentada por doña Carmen Bayod Guinalio, Diputada del Grupo Parlamentario Popular, como consecuencia de la Interpelación 06/0301-0027, relativa a la política general a seguir por el Gobierno Regional en materia de aguas en el próximo año hidrológico.

*DOÑA MARÍA DEL CARMEN BAYOD GUINALIO: Muchas gracias señor Presidente. Buenos días.*

*Señorías, el pasado jueves solicitamos desde el Grupo Parlamentario Popular, una interpelación para que con todos los datos sobre la mesa nos hablara usted, señora Consejera, sobre la política de agua del Gobierno en este año hidrológico.*

*Le pedíamos que nos diera alternativas, soluciones, ante la caótica situación en la que ha quedado nuestra Región tras el desmantelamiento del Plan Hidrológico Nacional, en suma, de la derogación del trasvase del Ebro.*

*Creemos que es el momento, Señorías, de solicitar soluciones nuevas, ya que las propuestas, hasta ahora, las que nos han dado ustedes hasta ahora mismo, no han sido llevadas a cabo por distintas razones; en definitiva, no han dado resultado alguno.*

*Al derogarse el trasvase del Ebro, ustedes, señores del Partido Socialista, intentaron, y lo dieron como solución inmediata a esta barbaridad, pedir la caducidad del trasvase Tajo-Segura, pero rápidamente se dieron cuenta que no teníamos Castilla-La Mancha la fuerza que tuvo en su momento Cataluña, la Ministra Narbona dijo que ni hablar, que no se iba a llevar a cabo esta paralización del trasvase Tajo-Segura, por lo que quedó en nada.*

*Después de tanta alaraca, Señorías, ustedes hoy, su política, la única política que tienen es trasvase del Ebro no, pero el del Tajo sí, repito, Señorías, política del Partido Socialista a día de hoy: trasvase del Ebro no, pero trasvase del Tajo-Segura sí, y ésta es la realidad hoy, pregúntenlo en la calle y le responderán a lo que les estamos diciendo. O sea, trasvasistas, pero ocasionales, a beneficio de partido, nunca a beneficio de Castilla-La Mancha y, mientras tanto, lamentablemente un billón de litros de agua tirados al mar por el Ebro.*

*Pues bien, el Partido Popular, preocupados ante la caótica situación que padecemos, firmamos en su momento, con ustedes, con el Partido Socialista, una Resolución conjunta de los dos Grupos, ¿lo recuerdan ustedes? el día 16 de junio de 2005, en la que se consideraba improcedente cualquier trasvase del Tajo al Segura que no fuera encaminado a garantizar el abastecimiento humano. Esto lo firmamos los dos Grupos el día 16 de junio de 2005.*



*¿Qué resultado nos ha dado esta medida? No nos hicieron ni caso, segunda medida que propusieron, en este caso conjuntamente y no nos hicieron ni caso, ahí están los últimos trasvases: en el mes de octubre salió el Presidente Barreda: "¡qué maravilla! sólo trasvase para abastecimiento humano", le dijimos desde esta Tribuna: "señor Barreda, sea usted cauto, sabe que va a procederse inmediatamente a un trasvase para riegos". No hicieron caso, sacaron ustedes a toda la sociedad articulada, como dice el Alcalde de Albacete a la sociedad articulada la sacaron ustedes diciendo: ¡qué maravilla! único en la historia"; a los veinte o treinta días trasvase para riego. O sea, este acuerdo tampoco nos sirvió para nada.*

*Después nos dicen ustedes: "no, las desaladoras van a ser nuestra solución, una vez que estén las desaladoras en marcha se va a cerrar el trasvase Tajo-Segura", y nos dice la señora Narbona: "en ningún momento las desaladoras ni las obras de Murcia van a ser alternativa al trasvase Tajo-Segura, nunca", y está hasta en el Diario de Sesiones del Congreso de los Diputados.*

*Yo sé, señora Consejera, que como usted dice, un familiar suyo sufre mucho cuando les decimos que faltan a la verdad, pero puede usted o mentir o ignorar, pero no puede ignorar lo que está en los Diarios de Sesiones de los Parlamentos, y lo ha dicho la señora Narbona, y está en la hemeroteca de todos los periódicos: "no se hagan ustedes ilusiones, las desaladoras, en el hipotético caso de que se hagan, no son alternativa al trasvase Tajo-Segura", negro sobre blanco, Diario de Sesiones y en todos los periódicos nacionales, provinciales y regionales. Bien, otra medida que no sirvió para nada.*

*Estas obras, Señoría, son de su competencia, y es su obligación haberlas tenido hechas ya, desde el año 2005 tenían que estar todas en marcha: las de depuración, y las de abastecimiento, menuda asignatura pendiente, señora Consejera. En pleno siglo XXI seguimos llevando agua para beber en cisternas, y le he traído aquí todos los partes, para que no diga usted que faltamos a la verdad. Pues bien, estas obras nos la presentó usted también como alternativa y como soluciones.*

*Por supuesto, Señorías, que las soluciones a los problemas de sequía pasan por llevar a cabo también con estricta responsabilidad todo el ciclo integral del agua, claro que sí, pero lo que estamos pidiendo, en primer lugar, por supuesto también las obra de*

*conducción, abastecimiento y depuración, pero primero lo que tenemos que hacer es tener y retener el agua; si ustedes no dan soluciones para tener y retener el agua mal podremos llevar a cabo todo el ciclo integral del agua porque no vamos a tener agua, y eso es lo que estamos pidiendo aquí, y tenemos que dejarnos de elucubraciones y de marear la perdiz, y tenemos que ser serios y admitir la triste realidad que tenemos ahora en Castilla-La Mancha.*

*Pero ustedes siguen diciendo: "trasvase del Ebro no, trasvase del Tajo sí", ¿hasta cuándo?, sine die. ¿Qué les decimos desde el Partido Popular? O trasvasamos todos o ninguno, creo que se puede decir más alto, más claro no Señorías, y a día de hoy pregunten en la calle y verán, Partido Socialista: "trasvase del Ebro, no, trasvase Tajo-Segura sí" y además sine die.*

*Es preocupante la postura que ustedes están adquiriendo, y es mi obligación, y lo digo con tristeza, el tener que remarcar lo que voy a hacer a continuación. Ustedes nos dijeron –declaraciones del señor Barreda-: "caducidad del trasvase Tajo-Segura ya". ¿Qué nos dijo la Ministra Narbona?: "Seguirá el trasvase, y además las obras que se están haciendo y las desaladoras no son alternativas al trasvase del Tajo". Dijo Barreda –y dijimos también desde el Partido Popular: "solo trasvases para abastecimiento"; Narbona -ahí lo tenemos: "para abastecimiento y para riegos". Dijo el señor Barreda: "las obras y las desaladoras de Murcia van a deshipotecar el trasvase Tajo-Segura", como ya he comentado, "estas obras serán como alternativa al trasvase del Ebro, nunca como al trasvase Tajo-Segura que continuará". Son declaraciones a disposición de usted, señora Consejera.*

*Señor Barreda: "se van a legalizar todos los pozos ilegales", Ministra Narbona: "desmiento totalmente la amnistía para los pozos ilegales". Portavoz del Grupo Socialista, el señor Molina, que no contamos con su presencia, luego eso sí, le gusta mucho, sin enterarse de lo que se dice en la Cámara, salir diciendo lo que dice, pero bueno, dijo: "hay que llevar a cabo ya, urgentemente, un trasvase de agua a las Tablas de Daimiel, porque esto se muere"...*

*Luego también salieron diciendo que había un acuerdo histórico, esto es conveniente aclararlo, respuesta de la Ministra Narbona a la Diputada del Partido Popular, la Diputada Nacional: "en la reunión habida en marzo de 2005 con el señor*

*Barreda yo no firmé documento alguno". Claro, esto de verdad que crea cierta incertidumbre y cierto malestar en los castellano-manchegos, y es nuestra obligación, porque para eso estamos aquí, el dejar en evidencia todas estas cosas, y esto no es bueno, porque deja en evidencia el desconcierto y la falta de soluciones, el desgobierno que hay que el tema del agua.*

*Con lo cual debemos de ser serios, analizada la realidad es la que decimos, Partido Socialista, ustedes ahora mismo están diciendo "no al trasvase del Ebro", tirando los miles de litros de agua que están tirando al día, y nuestros pantanos secos, y ustedes sin más dicen "trasvase del Ebro no, pero trasvase del Tajo-Segura sí, y además sine die". Partido Popular: "o trasvasamos todos o ninguno". Muchas gracias.*

...

*SEÑOR PRESIDENTE DE LAS CORTES: Gracias, Señoría. Por el Grupo Parlamentario Socialista, y por tiempo de diez minutos, tiene la palabra don Francisco Moya Martínez.*

*DON FRANCISCO JUAN MOYA MARTÍNEZ: Señor Presidente, Señorías.*

*Señora Bayod, es difícil, muy difícil, debatir con ustedes cuando constantemente repiten cosas que no son ciertas, la opinión pública las recoge, se traslada a los ciudadanos y claro, por mucho que a ustedes se les demuestre con documentos, y se les demuestre fehacientemente que no es verdad lo que ustedes dicen, siguen insistiendo en ello, de tal manera que yo no tengo más remedio que plantearle a su Señoría una cuestión.*

*Mire, una de sus afirmaciones hoy aquí: "el Gobierno del Partido Popular aprobó todos los Planes Hidrológicos de cuenca". Yo le quiero plantear a usted lo siguiente: si lo que usted dice es verdad yo presento la dimisión, pero si no, dimíte usted, porque no es verdad que el Gobierno del Partido Popular aprobase todos los planes hidrológicos de cuenca, pero ni es verdad eso ni tantas cosas que ha dicho usted hoy aquí.*

*La planificación hidrológica la pone en marcha el Gobierno socialista, el Gobierno de Felipe González, y aprueba la mayoría de los planes hidrológicos de cuenca, incluso de nuestra Comunidad, el del Guadiana lo aprueba el Gobierno socialista, Señoría, el*

*Plan Hidrológico del Segura lo aprueba el Gobierno socialista, y usted, o no sabe de lo que habla o miente deliberadamente.*

*Mire, si afirma que el 40% de las obras del Plan Hidrológico Nacional están hechas, diga usted cuáles, señora Bayod, enumérelas, enumere usted las obras, diga usted cuáles, diga "ésta, ésta, ésta..." porque por nuestra parte no hay ningún inconveniente, en Pleno, en Comisión, en hablar de todas y cada una de las obras del Plan Hidrológico Nacional, y ver en qué situación estaban porque no hicieron ustedes absolutamente nada, señora Bayod.*

Se lo hemos dicho en numerosas ocasiones, desde aquí no hemos dicho "trasvase del Ebro no", lo que hemos dicho es que cuando se ha modificado la política del agua a nivel nacional, era una ocasión para Castilla-La Mancha para reivindicar el fin del trasvase del Tajo, que es el que a nosotros nos importa, porque por si no lo ha entendido, con trasvase del Ebro o sin trasvase del Ebro, y lo hemos dicho por activa y por pasiva, no queremos trasvase del Tajo al Segura.

Ya está bien, ya hemos sido bastantes años solidarios, señora Bayod, ahora que lo sean otros si acaso, o que se planteen otras soluciones, como se está viendo que las hay, porque la tecnología hoy lo permite, otras soluciones para paliar los déficit hídricos en otras zonas del país que tengan necesidad de agua; luego solidaridad, señora Bayod, lo ha anunciado con claridad el Presidente Barreda, para beber, exclusivamente, agua para beber, para otros usos que se resuelva por otros procedimientos, señora Bayod, luego no tenemos especial empeño, simplemente tenemos empeño, y eso yo creo que la opinión pública de la Región y los ciudadanos de Castilla-La Mancha lo tienen claro, en acabar con el trasvase del Tajo al Segura, señora Bayod.

#### 8.4.- Aspecto Ambiental

La desalación de agua marina se presenta actualmente como la principal apuesta tecnológica para satisfacer la demanda de agua de las regiones del litoral mediterráneo español. Como consecuencia de este proceso, se produce el vertido de un agua de rechazo hipersalino o salmuera, que es vertida al mar, además de esto, muchos de los componentes de los vertidos (ver Tabla 48) tiene un impacto demostrado sobre el medio marino y, en algunos casos (ejemplo metales) no tanto por su concentración sino por la carga que representan.

Compuestos	Origen/Función	Impacto
Metales pesados: Cu, Fe, Ni, Cr, Zn	Corrosión	Acumulación en el sistema, estrés a nivel molecular y celular
Fosfatos	Anti-incrustantes	Macronutrientes, eutrofización
BELGARD'2000	Anti-incrustantes	Desconocido
Cl <sup>-</sup>	Antifouling	Formación de compuestos halogenados, carcinógenos y mutágenos
Ácidos grasos	Tensoactivos	Membranas celulares
Sulfuro de sodio	Anticorrosivo, captura de O <sub>2</sub>	Desconocido
Ácido sulfúrico	Anti-incrustante	En grandes cantidades baja significativamente el pH del sistema
Residuos sólidos	Limpieza de membranas	Turbidez
Salmuera	Concentrado de agua de mar	Variable
Temperatura	Tratamiento	Variable

**Tabla 48a.- Componentes de los vertidos y sus impactos.** Elaboración propia. Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007.

La salinidad de este vertido es variable, dependiendo del origen de la captación. En el caso de desaladoras de agua de mar es significativamente superior a la salinidad media a la que se encuentran los organismos que componen los hábitat y biocenosis de los ecosistemas marinos costeros mediterráneos (37-38‰). Las comunidades bentónicas se encuentran adaptadas a estos ambientes de salinidad casi constante, por lo que la susceptibilidad de dichas comunidades al incremento de la salinidad causado por un vertido de estas características (y, por tanto, su impacto ambiental) es esperable que sea elevado. Esta circunstancia, junto con la previsión de construir un considerable número de plantas desaladoras durante los próximos años (especialmente concentradas en el Levante y Sur peninsular), ha suscitado una inmediata y creciente preocupación por parte de científicos y gestores por el alcance, magnitud y consecuencias de tales impactos sobre el ecosistema marino.



**Fig. 49.-** Vertido al mar de sal muera de una planta desaladora. Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007.

Debido a la novedad de este tipo de impactos, apenas se dispone del conocimiento científico para prever los efectos de los vertidos hipersalinos sobre las biocenosis marinas y, por tanto, para aplicar las medidas técnicas necesarias para atenuar parcial o totalmente tales impactos. En este punto se analizan algunos aspectos clave de esta problemática, así como las diferentes soluciones y alternativas que actualmente se barajan para compatibilizar el desarrollo de la desalación con la conservación de la biodiversidad marina.

#### 8.4.1.- Características y comportamiento de los vertidos

La composición de un vertido y su comportamiento en el medio marino son un aspecto fundamental para entender y dimensionar su impacto sobre las comunidades biológicas.

La característica principal del agua de rechazo, como ya hemos comentado anteriormente, de las desaladoras de agua de mar es, obviamente, su elevada salinidad, que alcanza valores entre 68 y 90‰. Estos valores son menores si el agua de origen es salobre, captada de pozos o acuíferos, o si la salmuera es diluida antes de ser vertida al mar. En todo caso, teniendo en cuenta que la salinidad media de las aguas costeras del sureste peninsular se encuentra en torno a los 37,5 psu (37,5 g de sal / L) y que las variaciones en torno a esta media son bastante pequeñas (del orden de  $\pm 0,5$  psu), la diferencia de salinidad entre ambas masas de agua es lo suficientemente grande como para que este factor explique por sí solo los cambios que estos vertidos pueden originar en el ecosistema marino, aunque, como veremos, existen otros componentes del vertido que también pueden contribuir a explicar dichos cambios.

Esta diferencia de salinidad también explica el particular comportamiento del vertido hipersalino. Por un lado se trata de una masa de agua muy densa que forma una capa sobre el fondo y que se mueve siguiendo las líneas de máxima pendiente. Por otro lado, el grado de estratificación es tan alto que la dilución de esta masa de agua con la capa de agua superior a salinidad ambiente es muy difícil incluso con cierto grado de exposición hidrodinámica. La combinación de estas dos propiedades determina una dispersión de la masa de agua hipersalina sobre escalas espaciales considerablemente amplias. Un claro ejemplo es la planta desaladora de Alicante, cuyo vertido, con una elevada salinidad de salida (68 psu), ha mostrado una dilución menor de lo inicialmente esperado y la capa de agua densa hipersalina se ha expandido por el fondo hasta distancias de varios kilómetros, llegando a alcanzar incluso a la pradera de *Posidonia oceánica* más próxima, situada a unos dos kilómetros del punto de vertido.

Este ejemplo pone en evidencia además el contraste entre la excesiva confianza depositada en el empleo de modelos numéricos para simular la dilución y dispersión del vertido y su comportamiento en la realidad. Los resultados de dichos modelos deberían

pasar por el filtro del principio de precaución y ser contrastados con los resultados obtenidos en los programas de vigilancia ambiental, antes de ser utilizados ciegamente en futuros proyectos. De lo anterior se deduce también que la combinación de factores locales específicos de cada sitio va a moldear la forma y el alcance de los vertidos hipersalinos en cada caso particular. Así, características locales, como la orientación, la pendiente de la plataforma y la complejidad de la topografía submarina, van a ser determinantes a la hora de seleccionar la ubicación de este tipo de vertidos.

La topografía submarina es muy importante, pues de ella dependerá que la capa de agua hipersalina discurra por el fondo de una forma más o menos homogénea, es decir, a modo de una capa continua en el espacio, o en forma de ríos. Dicha topografía no solo está determinada por las características geológicas del fondo marino (presencia de rocas, desniveles, etc.) sino también por sus características biológicas, como la presencia de estructuras tridimensionales compactas formadas a partir de procesos de acreción vertical de la vegetación bentónica (matas, terrazas o canales), destacando por sus mayores dimensiones las de la fanerógama marina *Posidonia oceánica* (Fig. 39). Factores oceanográficos tales como la formación de termoclinas (se denominan así a las curvas de igual nivel de temperatura del agua) durante el período estival también pueden influir sobre el comportamiento de la capa hipersalina.

Así, por ejemplo, se ha llegado a observar en alguna ocasión que la salmuera se desplaza a media agua, sin llegar a alcanzar el fondo, debido a la mayor densidad de la capa de agua fría bajo la termoclina, situación que puede suponer un cierto alivio para la exposición de los organismos bentónicos a las elevadas salinidades.





**Fig. 50.-** Terrza o mata de *Posidonia oceanica*. Son estructuras milenarias (hasta 7.000 años) de varios metros de altura que modifican la topografía submarina en las zonas más próximas a línea de costa. Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72) 2007.

Además de la elevada salinidad, la composición química de la salmuera puede afectar también al estado y vitalidad de las comunidades biológicas. Efectivamente, el agua de mar captada es previamente tratada con aditivos químicos para controlar las incrustaciones (el *fouling*) y la corrosión. Aunque las concentraciones de estos compuestos son generalmente bajas ( $< 10$  ppm), no se descarta que puedan tener algún tipo de efecto tóxico o estresante sobre los organismos marinos.

Los compuestos de cloro son empleados como biocidas para prevenir la formación de *bio-fouling*; estos compuestos son tóxicos, pero son neutralizados antes de llegar a las membranas. El control de la formación de incrustaciones se realiza mediante la adición de polímeros de fosfato. La hidrólisis de estos ortofosfatos, junto con posibles aportes periódicos de materia orgánica procedentes de operaciones de limpieza de membranas, puede originar fenómenos de eutrofia en comunidades vegetales bentónicas, como la proliferación de especies de algas oportunistas y la consiguiente exclusión de especies autóctonas.

Para la limpieza de membranas se emplean también detergentes, que son vertidos junto con la salmuera y cuyo potencial tóxico sobre los organismos es bien conocido. Sin embargo, existen alternativas hoy día para el empleo de estos compuestos, reducir sus concentraciones en la salmuera o sus efectos en la calidad del agua (por ejemplo cambios en el pH, nutrientes, etc.), dejando a la salinidad como la principal característica de la salmuera con mayor potencial de afectar a las comunidades biológicas.

#### **8.4.2.-Efectos de los vertidos hipersalinos sobre los organismos marinos: el caso de las praderas de *Posidonia oceánica***

Aunque los cambios en la salinidad de la columna de agua pueden afectar a los organismos planctónicos (tanto especies planctónicas propiamente dichas como propágulos o estadíos larvarios de especies nectónicas y bentónicas), vamos a centrar nuestra atención sobre las comunidades bentónicas aparentemente más susceptibles al no poder desplazarse o migrar en respuesta a cambios ambientales. Además, precisamente por esta propiedad y su mayor longevidad, son capaces de memorizar los cambios del medio y pueden ser utilizadas como indicadores biológicos de dichos cambios. Las escasas investigaciones realizadas hasta la fecha sobre el efecto del incremento de la salinidad en los ecosistemas marinos costeros se han centrado en las comunidades de fanerógamas marinas y, más concretamente, sobre las praderas submarinas de *Posidonia oceánica*.

Las razones por las que se ha prestado especial atención a esta biocenosis son múltiples. Se trata de una especie endémica del Mediterráneo cuyas praderas ocupan grandes extensiones entre los 0,5 y 30 metros de profundidad; sus beneficios y servicios al ecosistema (elevada producción primaria, control de la calidad del agua, sedimentación, biodiversidad, etc.) han sido ampliamente reconocidos por la comunidad científica internacional y la han situado entre las comunidades biológicas de mayor relevancia ecológica para la conservación y gestión del ecosistema marino costero del Mediterráneo. Se encuentran especialmente adaptadas a las condiciones oligotróficas de los ambientes costeros mediterráneos, y sus elevados requerimientos de luz implican el mantenimiento de una alta transparencia de las aguas. Estas y otras circunstancias (por ejemplo reducida capacidad de colonización y, por tanto, escasa o nula habilidad para recuperarse tras una perturbación) explican su elevada sensibilidad a los cambios ambientales originados por la actividad antrópica, causa principal de la regresión de estas comunidades en el litoral mediterráneo.

*Posidonia oceánica* es una especie estenohalina, es decir, que no puede vivir en ambientes costeros con grandes fluctuaciones de la salinidad. Está ausente tanto en la desembocadura de ríos como en lagunas costeras hipersalinas, lo que indica que su rango de tolerancia a la salinidad no es tan amplio como el observado en otras especies

de fanerógamas marinas. Tradicionalmente se ha considerado que la salinidad no es un factor importante en la autoecología de *Posidonia oceánica*, ya que sus valores suelen ser bastante estables en los ambientes en que esta especie es dominante. Por esta razón los estudios realizados sobre el control de su ciclo productivo, su distribución y supervivencia no han incluido nunca este factor.

Este vacío de conocimiento científico, junto con las perspectivas de desarrollo de la desalación y la necesidad de evaluar su impacto ambiental, ha propiciado la puesta en marcha de los primeros proyectos científicos dirigidos a establecer los límites de tolerancia de esta especie a la salinidad y la influencia de este factor en la composición y funcionamiento de este valioso y complejo ecosistema. Este fue precisamente el objetivo de la primera de estas iniciativas, realizada entre los años 2001 y 2003, fruto de una colaboración múltiple entre la sociedad estatal ACSegura, el CEDEX, la Universidad de Barcelona, el CEAB (CSIC), la Universidad de Alicante y el Centro Oceanográfico de Murcia (IEO).

Para alcanzar dicho objetivo se plantearon tres niveles de estudio diferentes: 1) experimentos de mesocosmos en laboratorio mediante el estudio de la respuesta de la planta al incremento de la salinidad en acuarios, bajo condiciones ambientales (temperatura y luz) controladas, 2) simulación in situ del incremento de la salinidad mediante la realización de un vertido de salmuera a pequeña escala sobre parcelas experimentales en una pradera de *Posidonia oceánica* (Fig. 40), y 3) estudio de los efectos de un vertido real de salmuera de una planta desaladora en funcionamiento sobre la pradera.



**Fig. 51.-** Parcelas experimentales de tres metros cuadrados empleadas para estudiar *in situ* la respuesta de *P. oceánica* al incremento de la salinidad. La salmuera era aportada desde una planta desaladora piloto (200 m<sup>3</sup>/ día) a diferentes salinidades experimentales. Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, n° 72), 2007.

Tal como se esperaba, el límite de tolerancia de *Posidonia* a los incrementos de la salinidad es muy bajo. A partir de incrementos de aproximadamente 1 psu por encima de la salinidad media del agua (es decir, a partir de valores medios de 38,4 psu en este caso) se observaron efectos negativos significativos en diferentes descriptores de la estructura de la pradera, la vitalidad de sus tejidos, el crecimiento foliar, el estado fisiológico de las plantas y su supervivencia. La mortalidad total de la pradera se observó a partir de salinidades de 42 psu, bastante baja comparada con la tolerancia absoluta de otras especies de fanerógamas marinas a la salinidad alta: 70 psu para el caso de *Halophila ovalis*, 72 psu en el caso de *Halodule* spp y 60 psu en el de *Thalassia* spp. También se detectaron efectos a corto plazo en algunos componentes faunísticos del ecosistema de *Posidonia*, como los equinodermos (*Paracentrotus lividus*) y los misidáceos (*Leptomysis posidoniae*), a partir de valores de salinidad de 40 psu, siendo la intensidad de estos efectos positivamente correlacionados con la temperatura.

Estos y otros grupos faunísticos se encuentran estrechamente relacionados con las praderas y juegan un importante papel trófico bien como herbívoros, detritívoros o como fuente de alimento para niveles tróficos superiores (depredadores), por lo que la degradación de la pradera por los vertidos de salmuera tiene consecuencias que van más allá de la desaparición de la vegetación bentónica y alcanzan dimensiones ecosistémicas.

#### **8.4.2.1.- Otras comunidades bentónicas marinas**

Si bien queda claro que las praderas de *P. oceánica* son muy importantes, no hay que olvidar la presencia de otras comunidades biológicas cuya contribución a la biodiversidad y al funcionamiento del ecosistema marino costero es igualmente relevante y, por tanto, deben ser también tenidas en cuenta a la hora de diseñar estrategias de ubicación de las plantas desaladoras. Muchas de estas comunidades se basan también en unas pocas especies constructoras de hábitat, sobre las que se instalan biocenosis de elevada diversidad biológica; estas especies son también altamente sensibles al deterioro de la calidad del medio y pueden ser igualmente vulnerables al impacto de los vertidos hipersalinos.

Tampoco se conoce nada sobre la tolerancia de estas comunidades al incremento de la salinidad. Algunas ocupan zonas infralitorales más someras, donde aparecen de forma aislada o mezcladas formando mosaicos muy heterogéneos que sirven de refugio y alimento a juveniles y adultos de numerosas especies animales. Otras se encuentran en zonas profundas circalitorales, más allá de los límites profundos de las praderas de *Posidonia oceánica* (25-30 m). Son, por tanto, receptores de los impactos de los vertidos de salmuera, tanto de aquellos realizados desde la línea de costa como los realizados en zonas profundas a través de emisarios submarinos para evitar las praderas de *Posidonia*.

La mayor parte de estas biocenosis se encuentran también incluidas en las listas de hábitat y especies cuya conservación es prioritaria (Directiva de Hábitat, Convenio de Barcelona, etc.), aunque su distribución geográfica se encuentra bastante menos estudiada que en el caso de las praderas de *Posidonia oceánica*.



**Fig. 52.-** Aspecto de los fondos colonizados por las fanerógamas marinas: *Cymodocea nodos*, con *Posidonia oceánica* al fondo. Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007.

#### 8.4.3.- Alternativas de vertido y ubicación

Según lo expuesto anteriormente, no se puede ignorar que el vertido de las plantas desaladoras es una causa potencial de impacto sobre las biocenosis marinas y, por tanto, se debe actuar en consecuencia. Asumir esto no debe representar un impedimento para el desarrollo de la desalación en nuestras costas. El problema es determinar dónde y cómo con unos mínimos criterios científico-técnicos y un poco de sentido común. No existe un protocolo o fórmula mágica para evitar o atenuar el impacto de los vertidos hipersalinos, y más teniendo en cuenta que nuestra capacidad de predicción es todavía bastante limitada, no solo por el escaso conocimiento científico de la respuesta de las biocenosis al incremento de la salinidad sino también por el todavía elevado grado de incertidumbre de los modelos de dispersión hidrodinámica de los vertidos.

Cada caso particular deberá ser objeto de un cuidadoso y exhaustivo análisis a priori. Veamos cuáles son las alternativas con las que contamos a la hora de establecer dicho análisis.



#### **8.4.3.2.- Dilución del vertido**

Se ha comentado anteriormente el peculiar comportamiento de los vertidos de salmuera, particularmente extensos y difíciles de diluir a consecuencia de la extremada estratificación causada por la diferencia de densidades entre la capa hipersalina del fondo y la capa superior a salinidad ambiente. La dilución de la salmuera previa a su vertido mezclándola con agua de mar reduce dicha diferencia facilitando la dilución de la capa hipersalina por acción del oleaje y las corrientes. Como consecuencia es posible reducir el alcance de los vertidos hipersalinos dentro de escalas espaciales razonables, disminuyendo así el impacto sobre las comunidades bentónicas e incluso impidiendo que alcance a hábitats sensibles próximos. Es, sin duda, la alternativa más recomendable desde el punto de vista medioambiental.

Otra ventaja añadida es que al mismo tiempo se pueden reducir las concentraciones de los aditivos químicos empleados durante el proceso de desalación hasta concentraciones muy pequeñas, e incluso indetectables. En el caso de que se utilicen emisarios, la dilución del vertido puede ser también incrementada en la salida del efluente mediante el empleo de difusores específicamente diseñados para tal fin (número de chorros, ángulo de inclinación, profundidad, etc.). En ningún caso el empleo de estos métodos de dilución debería justificar el vertido directo sobre ecosistemas sensibles, ya que no garantizan la ausencia de riesgo ambiental para tales ecosistemas y contradicen el principio de precaución por el que deben estar regidas estas actuaciones.

Otra alternativa interesante y poco explotada es realizar previamente el vertido de salmuera en infraestructuras ya existentes, como dársenas portuarias, canales, etc. En este caso deberían aplicarse otros tipos de medidas que permitieran la dilución y dispersión del vertido en el interior de dichas infraestructuras, ya que si no la salmuera simplemente se acumularía y saldría intacta en la conexión de las mismas con el mar abierto. Como ejemplo de esta modalidad de vertido cabe mencionar el aprovechamiento de los canales o emisarios de salida del agua de refrigeración de centrales térmicas, como es el caso de la planta desaladora de Carboneras (Almería).



#### **8.4.4.- Otros impactos Medioambientales**

Otro impacto medioambiental importante a considerar, es el excesivo espacio físico que requieren las instalaciones, así como su ubicación en zonas costeras donde la actividad turística podría verse afectada. La ubicación de las instalaciones de desalación ha de regirse por un riguroso análisis de forma que se estudien en detalle todos aquellos condicionantes que pueden afectar al diseño y funcionamiento de la desaladora.

Es necesario el estudio de las condiciones de captación, vertido, entrega del agua producto y suministro eléctrico de cada una de las alternativas de ubicación planteadas.

Pero normalmente la situación de las plantas desaladoras se localizan próximas a la zona de costa, alejadas de las playas y de zonas turísticas. La tipología constructiva de las edificaciones empleadas en las plantas desaladoras no presentan un carácter eminentemente industrial, salvo excepciones. Sus diseños suelen adaptarse al entorno que los rodea, con edificaciones de baja o mediana altura, amplias superficies para prever posibles ampliaciones.

Finalmente, también hay que destacar la contaminación acústica (y posibles vibraciones) que generan las plantas desaladoras, que no suele mencionarse debido a su lejanía de poblaciones y zonas habitadas. Pero debe tenerse en cuenta sobre todo en pequeñas islas o zonas con muy escaso terreno edificable.

Por lo general, para elevar la presión de impulsión del agua de alimentación por encima de la presión osmótica de las membranas es necesario acudir a bombas de media o alta presión que son acondicionadas eléctricamente mediante motores trifásicos asíncronos de grandes potencias, alcanzando estos equipos valores por encima de los 90dB.

#### **8.4.5.- Impacto en la desaladora de Alicante**

La búsqueda de localidades que permitan una combinación de varias de las alternativas anteriores es la opción que sin duda permitirá llegar a las soluciones medioambientalmente más aceptables. Un ejemplo interesante en este sentido es la planta desaladora de la localidad alicantina de Javea. La salmuera de esta planta se vierte en un canal artificial de unos 700 metros de longitud que desemboca en una playa próxima. Previamente a este vertido, la salmuera (68 psu) es diluida en una proporción 1:4 con agua de mar hasta reducir su salinidad hasta 44 psu. Además, la descarga de este vertido diluido se realiza a través de dieciséis difusores que originan una dilución adicional. El resultado es que, desde la salida del canal, la extensión de la zona de fondo marino afectada por el vertido es como mucho de 300 metros y no llega a alcanzar en ningún caso a la pradera de *Posidonia oceánica* situada en sus proximidades, tal y como lo demuestran los trabajos de seguimiento realizados en dicha pradera. Es un ejemplo claro de cómo mediante un trabajo previo de análisis de alternativas y sentido común, el desarrollo de la desalación y la conservación de la biodiversidad marina de nuestro litoral pueden llegar a ser objetivos compatibles y reales.

Para concluir este punto, introduciré un estudio sobre las medidas de atenuación del posible impacto ambiental del vertido de las desaladoras de osmosis inversa siguiendo con el ejemplo en Alicante. Ha sido realizado por la *Unidad de biología marina, departamento de ciencias ambientales y recursos naturales, y departamento de ingeniería química, universidad de Alicante*.

La información existente sobre la dispersión de vertidos hipersalinos originados por plantas desaladoras y sobre los efectos de estos en el ecosistema marino es muy escasa. En el presente punto se exponen las medidas de atenuación aplicadas para evitar el posible impacto del vertido de la desaladora Alicante, España, junto con los resultados del posterior programa de vigilancia ambiental realizado por la Unidad de Biología Marina de la Universidad de Alicante.

La planta desaladora por osmosis inversa de Alicante comenzó a funcionar en junio del 2002. Hasta la fecha los resultados obtenidos en las campañas efectuadas confirman

que la dilución inicial del vertido y la ubicación propuesta para su descarga eran los apropiados. Únicamente en verano se ha detectado un ligero incremento de la salinidad intersticial y profunda, de extensión muy localizada y que no llega a afectar a las praderas de *Posidonia oceánica* más cercanas.

Actualmente la desalación de agua de mar se ha convertido en una de las soluciones más empleadas ante la escasez de agua existente en algunos países de la cuenca mediterránea (Medina, 2001). Tal es el caso de España, donde el número de instalaciones desaladoras, tanto proyectadas como en construcción, se ha incrementado de una forma significativa en los últimos años (Medina, 2001).

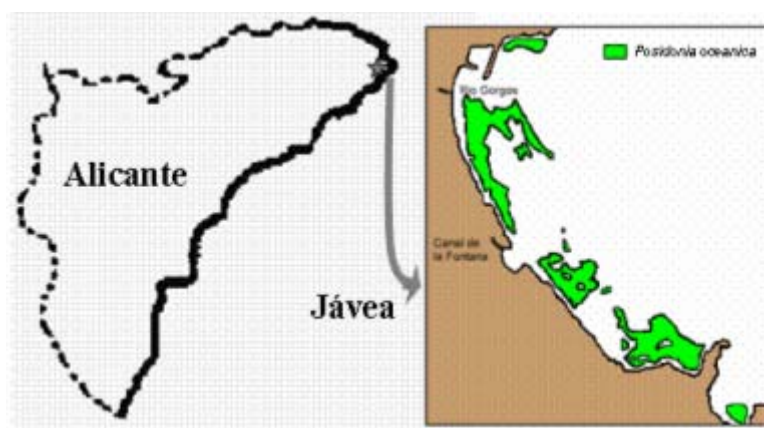
De entre las distintas técnicas existentes, la desalación de agua de mar por ósmosis inversa (OI) es el método más empleado, debido al desarrollo de nuevas tecnologías y a su menor consumo de energía y espacio (Morton et al., 1996; Valero et al., 2001; Purnama et al., 2003). Durante el funcionamiento de una planta desaladora por OI se puede producir un importante volumen de agua de rechazo, producto secundario compuesto por una salmuera de elevada salinidad (43 - 90 ups) y por otros aditivos que se emplean en el proceso de desalación (Höpner y Windelberg, 1996; Morton et al., 1996; Gacia y Ballesteros, 2001; Lattemann y Höpner, 2003).

En las desaladoras próximas al litoral este agua de rechazo es vertida principalmente al medio marino, donde debido a su mayor densidad forma una capa hiperhalina que se dispersa sobre el fondo, pudiendo afectar a los organismos allí presentes (Del Bene et al., 1994; Gacia y Ballesteros, 2001; Einav y Lokiec, 2003; Purnama et al., 2003). La magnitud de este impacto dependerá de las características de la planta desaladora y de su vertido, pero también de la naturaleza física (batimetría, hidrodinamismo, etc.) y de las condiciones biológicas del ambiente marino receptor (Ahmed et al., 2000; Einav et al., 2002).

Hasta la fecha existe muy poca información publicada sobre el comportamiento y la dilución de estos vertidos, así como sobre sus posibles efectos en las comunidades marinas (Chesher, 1975; Tomasko, 1999; Castriota et al., 2001; Pérez y Quesada, 2001). Entre las comunidades más susceptibles de sufrir este tipo de impacto hay que destacar

las formadas por las fanerógamas marinas (Gacia y Ballesteros, 2001). En el mar Mediterráneo *Posidonia oceánica* es una especie endémica, protegida y de gran importancia ecológica y biológica (Boudouresque y Meinesz, 1982), pero muy sensible ante las actuaciones humanas en la línea de costa (Ruiz, 2000) y como se ha demostrado recientemente, también ante los vertidos hipersalinos (Autores Varios, 2003). Se debe evitar, por tanto, que los vertidos de las desaladoras en el Mediterráneo afecten a esta comunidad. Para ello, interesa por una parte, seleccionar zonas degradadas o con una baja calidad ambiental donde situar la descarga del vertido y, por otro lado, maximizar la dilución del mismo para reducir las zonas afectadas. Esto se puede conseguir mediante una dilución previa adecuada, empleando la propia energía potencial del vertido o utilizando mecanismos de mezcla activa, como difusores artificiales o determinadas condiciones hidrodinámicas locales (Einav et al., 2002).

El principal objetivo del presente trabajo es exponer las medidas de atenuación aplicadas para evitar el posible impacto del vertido de la desaladora por OI de Alicante, junto con los resultados del seguimiento realizado por la Unidad de Biología Marina de la Universidad de Alicante. A continuación se describe como unas adecuadas recomendaciones previas a la construcción de la desaladora han facilitado la dilución del vertido de sus aguas de rechazo, evitando a las praderas de *Posidonia oceánica* presentes en la zona, como se ha podido comprobar posteriormente dentro del programa de vigilancia ambiental.



**Fig. 54.-** Localización del vertido de la desaladora de Alicante, (Canal de la Fontana) y de las praderas de *Posidonia oceánica* presentes en la zona. Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007.

## **1.- MATERIAL Y MÉTODOS**

### **1.1.- Situación y descripción de la planta desaladora**

La instalación desaladora de agua marina (IDAM) mediante OI de Alicante comenzó a funcionar en Junio del 2002. Para su abastecimiento emplea agua de mar procedente de pozos costeros profundos (200 m). Produce un caudal de  $6720 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  de agua potable por línea, con una conversión de 44.8% y una producción máxima de  $26800 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$  (que se espera aumentar en el futuro a  $40320 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ ). Sin embargo, esta producción puede variar significativamente de forma estacional, con un incremento considerable durante los meses estivales. El agua procedente de la limpieza de los filtros de arena y membranas es tratada antes de su descarga al mar, mezclada con la salmuera.

Previamente a la construcción de la desaladora se realizó un estudio sobre las posibles alternativas de vertido de su agua de rechazo (Ramos et al., 2001). El proyecto original de la planta desaladora localizaba el punto de vertido en el Río Gorgos (Fig. 43), pero debido a la proximidad de las praderas de *Posidonia oceanica* (80 m) se recomendó mover dicho punto al Canal de la Fontana (Ramos et al., 2001), un canal artificial de 700 m que desemboca cerca de la playa del Arenal (Fig. 43). También se propuso una mezcla inicial de la salmuera (68 ups) con el agua del Río Gorgos para conseguir una salinidad menor de 44 ups, y realizar la descarga mediante dieciséis difusores para incrementar su dilución en el canal.

### **1.2.- Campañas de muestreo y vigilancia ambiental**

Desde la puesta en marcha de la desaladora, y para detectar cualquier posible impacto de su vertido, se está realizando un seguimiento anual de la dispersión y dilución de la salmuera, así como de las comunidades más sensibles presentes en la zona. Entre agosto del 2002 y septiembre del 2003 se realizaron tres campañas, una en invierno y dos en verano, debido a la influencia de la estacionalidad en las condiciones hidrodinámicas. En dichas campañas se muestreó en una cuadrícula de aproximadamente 30 estaciones equidistantes distribuidas en las cercanías del vertido. Cada punto de muestreo se posicionó mediante un GPS Garmin 50 (precisión  $\pm 5 \text{ m}$ ). La profundidad se midió con una sonda de mano digital LCD Hondex PS-7 (precisión  $\pm 0.1 \text{ m}$ ). En cada estación se tomó una medida de salinidad en la superficie, en el fondo y en

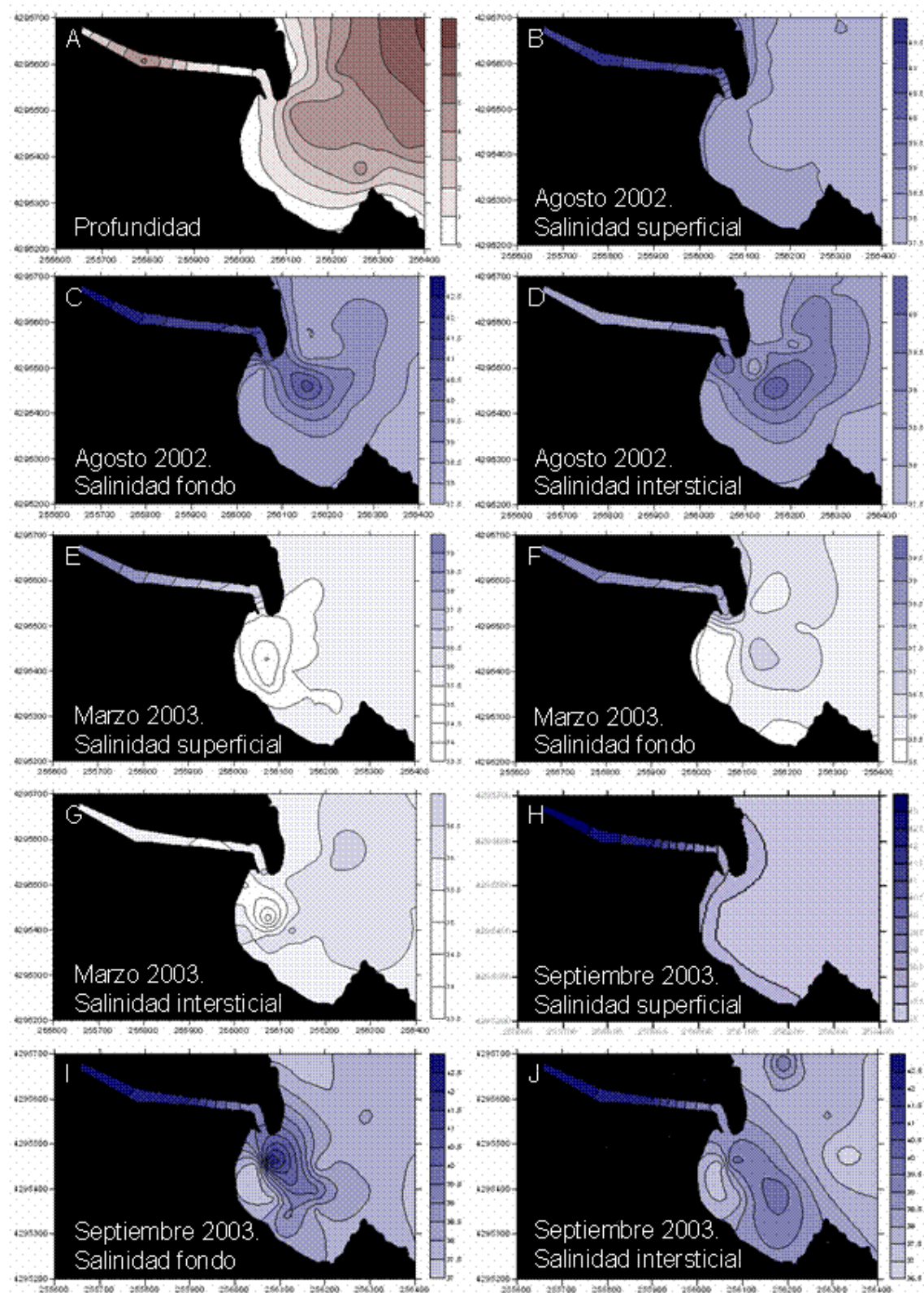
el agua intersticial, empleando un conductivímetro Thermo Orion modelo 1230 (rango de 0 - 70 ups, resolución  $\pm 0.1$  ups).

En cuanto al seguimiento de especies sensibles y de alto valor ambiental, se seleccionó entre otras, a la fanerógama marina *Posidonia oceánica*. Anualmente se realiza un estudio de su dinámica poblacional, estimando sus tasas de reclutamiento y de mortalidad. Para ello se han instalado parcelas permanentes en las cercanías del vertido, a diferentes profundidades, y en zonas suficientemente alejadas del mismo como para que actúen a modo de controles.

### **1.3. Representación espacial y análisis de datos**

Los datos de salinidad obtenidos en cada campaña se trataron empleando la técnica de interpolación conocida como kriging, con el propósito de conseguir una representación real de la salinidad en el espacio. Previamente y para utilizar esta metodología debe demostrarse algún tipo de correlación espacial entre los datos. Por esta razón se utilizó el GeoEAS (Geostatistical Environmental Assessment Software) programa desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental Americana (EPA). Con este programa obtuvimos el variograma experimental, el modelo que más se aproximaba a él (empleando el subprograma VARIO) y su validación (con el subprograma VALID).

El modelo obtenido se trasladó al programa Surfer © v.7 para conseguir la representación espacial gráfica de los datos de salinidad en el área estudiada. Los datos de dinámica poblacional de *Posidonia oceánica* (tasa de mortalidad, división de plantas marcadas y balance total) fueron tratados estadísticamente mediante el análisis de la varianza (Underwood, 1997) con el fin de determinar si existían diferencias entre las estaciones más próximas al vertido con las que actuaban a modo de control.



**Fig. 55.** Representación espacial de la profundidad (m) y de los datos de salinidad superficial, intersticial y de fondo, obtenidos en las tres campañas, Agosto, Marzo y Septiembre 2003.

Fuente: Pridesa (revista de ingeniería y territorio, nº 72), 2007.

## 2. RESULTADOS

Los datos obtenidos en las tres campañas muestran como la salinidad del efluente en el Canal de la Fontana nunca ha llegado a superar las 44 ups. A la salida del canal la extensión de la zona afectada por el vertido suele ser muy reducida (verano) o nula (invierno). En cualquier caso, en las aguas superficiales se puede observar una dilución total, mientras que la salinidad en el fondo llega a extenderse hasta unos 300 metros a partir de la desembocadura del canal (Fig. 55C). La forma y dirección de esta pluma de mayor salinidad parecen estar relacionadas con la batimetría (Fig. 55A) dentro del área de la descarga, donde el vertido sigue la dirección marcada por la línea de mayor pendiente (Figs. 55C y 55I).

Además de esta variación a escala espacial en el comportamiento del vertido también se detectó una fuerte respuesta estacional en el mismo. Así, en la primera campaña de verano (agosto del 2002), con dos bastidores operando en la desaladora, se obtuvieron valores de salinidad más elevados y una mayor extensión de la zona de influencia. Los valores de salinidad obtenidos para el agua superficial en el área del estudio fueron bastante homogéneos, exceptuando dentro del Canal de la Fontana dónde las salinidades fueron de 38 a 41.8 ups (Fig. 55B). En el fondo la salinidad fue más elevada en los primeros metros alrededor de la desembocadura del cauce (38 - 42 ups). Para el agua intersticial la tendencia era similar pero con valores comprendidos entre 38 y 40.6 ups (Fig. 55D).

En la segunda campaña correspondiente a invierno (marzo del 2003), la planta desaladora utilizó solo un bastidor, y el área de influencia, así como sus valores de salinidad se vieron reducidos significativamente. La salinidad superficial estuvo comprendida entre 33.9 y 39.5 ups (Fig. 55E), la salinidad del fondo entre 34.9 y 36 ups (Fig. 55F), mientras que los valores más bajos se obtuvieron para el agua intersticial con 30.3 - 36 ups (Fig. 55G).

En la última campaña, en septiembre de 2003, con dos bastidores operando, se repitió la misma tendencia observada en la otra campaña estival. Las salinidades más elevadas se detectaron dentro del Canal de la Fontana y en las cercanías de su



desembocadura. Las salinidades del agua superficial estuvieron comprendidas entre 37.3 y 43.5 ups (Fig. 55H), en el fondo entre 37.4 y 42.3 ups (Fig. 55I), y en el agua intersticial entre 37.4 y 39.9 ups (Fig. 55J).

Respecto a la composición del vertido se observan valores muy bajos o indetectables de fósforo y nitritos mientras que los aportes de nitratos oscilan entre 1 y 3 ppm. A lo largo del canal de la Fontana se observa un aumento de la concentración de nitratos lo que indica que existen otros vertidos al canal. Dentro del Canal de la Fontana la circulación de agua ha permitido eliminar la anoxia sus problemas asociados.

En cuanto a la dinámica poblacional de *Posidonia oceánica*, ésta mostró un comportamiento homogéneo. No se detectaron diferencias significativas entre las localidades que actuaban a modo de control y la situada más próxima al vertido. Las tasas de reclutamiento y de mortalidad se caracterizaron por presentar valores bajos y similares entre sí, generando un balance total próximo a cero. Del mismo modo, organismos muy sensibles a cambios de salinidad que se han empleado como bioindicadores, los equinodermos, no muestran diferencias respecto a estaciones control.

La salinidad de las aguas costeras de la Provincia de Alicante es relativamente estable y normalmente oscila entre 36 y 38 ups (observación personal). Por lo tanto, cualquier aumento a partir de ese valor podría ocasionar un impacto significativo en las comunidades marinas de la zona, dependiendo siempre del grado de este incremento. En el presente estudio, las salinidades más elevadas asociadas al vertido de la IDAM de Alicante se detectaron dentro del canal de la Fontana, debido a la descarga de la salmuera en su interior y a su reducida circulación de agua. Debe recordarse que éste es un canal artificial sin una comunidad bentónica importante (Ramos et al., 2001), lo que lo convierte en una localización ideal para dicho vertido.

Además, se ha observado que esta descarga ha disminuido los problemas de anoxia generados por la falta previa de circulación del agua dentro del canal. Fuera del canal, las mayores salinidades se observaron cerca de su desembocadura, donde el efluente, de mayor densidad que el agua de mar, se desplaza por el fondo siguiendo la pendiente batimétrica y evitando a las praderas de *Posidonia oceánica* más superficiales presentes

en el área. Durante su desplazamiento la salmuera se diluye en una velocidad que es proporcional a la agitación de la columna de agua. En este caso se ha detectado que la dilución total del efluente tiene lugar en una distancia corta (300 metros), lo que podría explicarse por la dilución de la salmuera antes de la descarga y por el hidrodinamismo de la zona.

La salinidad además de variar en el espacio también lo hizo de forma estacional. Las salinidades más elevadas, así como una mayor dispersión de estas, se observaron en verano. Durante este periodo la instalación desaladora tiene una mayor producción (opera con 2 bastidores) y además las condiciones hidrodinámicas son más suaves, facilitándose cierta estratificación al reducirse la mezcla vertical de la columna de agua. Durante el invierno el área afectada por las salinidades más elevadas resulto ser de menor tamaño. En esta época la planta trabaja con un bastidor, pero además las condiciones hidrodinámicas son más fuertes y el incremento de las precipitaciones genera flujos de agua dulce próximos a la desembocadura del canal, provocando una mayor dilución del efluente.

No obstante y considerando que hasta la fecha la planta desaladora de Alicante ha estado operando con un número de bastidores limitado (uno en invierno y dos en verano), es posible que el comportamiento de su efluente cambie cuándo la instalación se amplíe a 6 líneas. Ya que aunque se aumentaría la dilución inicial de forma proporcional, el volumen del vertido también se incrementaría, pudiendo extenderse las zonas afectadas por el mismo.

El seguimiento de la dinámica poblacional de *Posidonia oceánica*, además de ser considerado indispensable por la protección e importancia de dicha especie, nos puede ayudar a detectar si el vertido ha alcanzado a esta comunidad en cualquier otro momento. En el caso de la desaladora de Alicante se ha comprobado que las praderas de *P. oceánica* se encuentran en un estado estacionario, lo que indica que por hasta ahora no se han visto afectadas por el vertido.

En general, y a raíz de los resultados obtenidos en el presente trabajo, con el fin de reducir el impacto de un vertido de una desaladora de agua de mar por OI se recomienda:

- Diluir el agua de rechazo antes de su descarga en el mar. En el presente estudio, la salmuera se mezcló previamente con agua de mar en una proporción de 4 a 1 para disminuir su salinidad de 69 ups a 44 ups.
- Realizar la descarga preferentemente en zonas ya degradadas. En este caso el canal de la Fontana fue construido artificialmente para crear un puerto deportivo. Previamente a la descarga se caracterizó, resultando ser eutrófico y de una circulación limitada. Con el efluente se ha aumentado la circulación del agua en el canal, reduciendo la situación inicial.
- Descargar en áreas muy hidrodinámicas. El canal de la Fontana desemboca en una playa en una zona de poca profundidad, donde las olas y corrientes actúan dinámicamente mezclando las diferentes capas de salinidad.
- Realizar un correcto y estricto programa de vigilancia ambiental durante el funcionamiento de la desaladora, en el que se verifique que su vertido no produce impactos negativos e irreversibles sobre el medio marino.

#### **8.4.6.- Impactos de las desaladoras en Cataluña**

Las obras que se refieren a la desaladora del Prat de Llobregat, afectan a los términos municipales de Barcelona, Cornellà del Llobregat, El Prat de Llobregat, Hospitalet de Llobregat y Sant Joan Despí. Está claro que afectará todo el entorno de la población.

El gobierno decidió que la desaladora más grande de Cataluña, se instalará en este caso en el Prat de Llobregat. La planta forma parte de un plano presentado por la Agencia Catalana del Agua que tiene como objetivo el abastecimiento como se ha comentado anteriormente, de la región de Barcelona.

Ambas plantas tienen un coste ecológico por su alto consumo eléctrico i producen unas enormes emisiones de CO<sub>2</sub>, la potabilización de un metro cúbico de agua marina, requiere el equivalente en energía eléctrica a un kilo de petróleo. Si multiplicamos por 60 hectómetros cúbicos que se pretenden más o menos extraer de media en Cataluña, nos da haciendo la conversión de unidades 60.000.000 kilos de petróleo.

Ambas desaladoras, generan como todas las desaladoras estudiadas hasta el momento, cantidades de salmuera, residuos de agua mucho más altos en contenido de sales que el agua del mar, que son lanzados a pocos kilómetros de la costa. Y como se ha descrito en el punto 7, estos residuos son altamente contaminantes para la flora y la fauna marina.

Otro de los impactos será el incremento del coste del precio del m<sup>3</sup> de agua que pagan todos los consumidores que actualmente está a 0,21 euros, que según la ACA (Agència Catalana de l'aigua) subirá a 0,40 euros que repercutirá directamente en los recibos que la población paga.

Hay que considerar también los impactos sonoros que producirán las plantas desaladoras. Hace un efecto sonoro, como el de un avión.

Las plantas desaladoras de estos tamaños contribuyen negativamente a la calidad de vida de la población, ya que emite enormes cantidades de CO<sub>2</sub>, afectando también a la salinidad de la franja marítima, a los acuíferos, también a las zonas de especial protección de aves y a la biodiversidad marina del litoral.

Se talaron para empezar a construir la desaladora del Prat, 20.000 pinos, produciendo este hecho un impacto ambiental bastante importante.

Un beneficio de la desaladora del Prat, será evitar la sobreexplotación del río Ter.

Respecto a los impactos políticos, como ya se ha comentado en el punto 7, el partido popular está contra la desalación, más que nada porque en su día el tema de la desalación, fue una idea del partido socialista. Después de estudiar varias opciones, se

optó por poner la desaladora más grande en el Prat de Llobregat, descartando las opciones de Gavà y Viladecans dónde hubo un fuerte rechazo social.

La siguiente Tabla, muestra la comparación de los posibles emplazamientos de desaladoras en Cataluña y los impactos que éstas producirían, así como el volumen de agua desalada en hm<sup>3</sup>/año.

Emplazamiento	Coste	Impacto ambiental	Volumen desalinización (hm <sup>3</sup> /año)
Costa Brava Norte	Medio	Crítico	5-10
Costa Brava Centro	Inviabile	Severo	5-10
Maresme-Montgat	Medio-Alto	Moderado	20-40
Marcéeme Centre-Sud	Medio-Alto	Moderado	10-20
Barcelona Norte	Medio-Alto	Compatible	30-60
Barcelona Sur	Medio	Compatible	30-60
Garraf	Medio-Alto	Moderado	10-20
Tarragona	Medio-Alto	Compatible	20-40

**Tabla 49.-** Comparación de posibles emplazamientos de desaladoras en Cataluña. Elaboración propia. Fuente: Conques internes de Catalunya. Agència catalana de l'aigua, 2002.

#### 8.4.7.- Impactos en de la desaladora Ampliación Alicante I

Se ha de hacer un control y estudio exhaustivo del vertido del agua de rechazo procedente tanto de la ampliación de la desaladora de alicante I como de la nueva desaladora Alicante II (en construcción con capacidad de 24 hm<sup>3</sup>/año), con un vertido total resultante de 158.000 m<sup>3</sup>/día; a razón de 79.000 m<sup>3</sup>/día cada una de las dos citadas desaladoras. Como también el estudio de afecciones a hábitats y especies de interés comunitario recogidas en la Directiva 92/43/CEE, en particular praderas de la Posidonia oceánica (explicado más extensamente en el siguiente punto 8), ubicadas en el LIC “Illa de Tabarca”.

Afectará a zonas húmedas protegidas y próximas, en particular al Saladar de Agua Amarga, por acción de la toma subterránea de agua de mar, que entre la actual desaladora ampliada y la nueva desaladora extraerán 290.000 m<sup>3</sup>/día.

Impacto sobre las aguas subterráneas y nivel freático de la zona de actuación.

Sobre la captación de agua del mar se han analizado dos alternativas de captación

1. Ampliación de la actual batería de pozos.
2. Toma mediante drenes bajo el lecho marino contruidos por perforación horizontal dirigida.

El estudio hidrogeológico que se ha analizado para la construcción de esta ampliación de la desaladora, establece la viabilidad de la ampliación de la toma actual con perforaciones más profundas (150m), recomendando la apertura de tres nuevos pozos y la sustitución de los ocho ya existentes por otros nuevos ubicados en sus inmediaciones.

La captación mediante drenes dirigidos hacia el mar se ha descartado por la baja permeabilidad del fondo marino, que exige longitudes de perforación desmesuradas.

Sobre el coste energético lo que se ha hecho es que el punto de entrega de los nuevos caudales generados, se haya puesto una conexión entre la actual tubería de impulsión hasta los depósitos de Elche con el Canal de Alicante, en Torrellano, lo que posibilita la alimentación costera de Gran Alacant- Santa Pola, con un importante ahorro energético.

Sobre el vertido de agua de rechazo, el agua de mar concentrada con un contenido en sales directamente proporcional a la tasa de conversión de la planta (45%), que para el caudal de producción previsto por las dos desaladoras supone un vertido de 158.000 m<sup>3</sup>/día con una salinidad de 57,03 g/l. La única alternativa para eliminar estos caudales

es su vertido al mar, debiéndose adoptar un sistema de descarga que garantice la no afección a los ecosistemas marinos. En esta desaladora, se tratarán los vertidos con varios dispositivos y diluciones, concluyendo que con el punto de vertido actual y una dilución de una parte de salmuera por dos de agua de mar, se limita el alcance del vertido salado a distancias asumibles.

El estudio de impacto ambiental expone que para establecer los límites de salinidad que garantizan la no afección a la pradera de la Posidonia oceánica: no superar 38,5 unidades prácticas de salinidad (psu) el 25% de las observaciones o 40 psu el 5% de las observaciones. Teniendo en cuenta las salidas de vertidos al mar, el estudio de impacto ambiental establece que, aplicando una dilución de 1 litro de agua de rechazo/2 litros de agua de mar (1/2), la salinidad en el punto de vertido es de 48 psu aproximadamente y se alcanza la línea de 38,5 psu a 429,6 m de la costa, a más de 1.500 m de las primeras manchas de pradera degradada, con una franja de seguridad suficientemente extensa para asumir cualquier desviación en los cálculos.

Aplicando el principio de precaución, el promotor incorpora en la toma de agua para dilución, una reserva de bombeo para aumentar el grado de dilución por encima de la relación 1/2, en caso necesario.

El funcionamiento natural de la zona húmeda del Saladar de Agua Amarga puede verse alterado a depresiones freáticas inferidas por las tomas de agua de alimentación a planta. Este impacto se corrige con la inundación periódica de los esteros dentro del saladar y la apertura de canales de conexión al mar para propiciar la renovación de las aguas, mediante ciclos de inundación naturales, creando una lámina de agua permanente.

La acción en la franja costera, se ha previsto ejecutar un trazado subterráneo de la conducción de agua para dilución del rechazo salino, mediante hincas, con el fin de perseverar las especies vegetales de interés por su valor paisajístico, especialmente el *Limonium furfuraceum*.

Para la protección de las praderas de Posidonia oceánica, se realiza la medición de continua salinidad y de la temperatura en seis sensores (especificando máximos,

mínimos y media), así como los datos básicos del estado de la mar en las proximidades de la zona de vertido: dirección, fuerza máxima del viento, mareas y oleaje.

Se deben tener en cuenta, al menos, los siguientes factores, ya que el vertido de la desaladora de Alicante I, es muy contaminante:

- Estructura de la pradera: límite de la distribución, densidad de haces, porcentaje de cobertura y dinámica de poblaciones.
- Comunidad faunística asociada: Nacra (*Pinna nobilis*); Espirógrafo (*Spirographis spallanzanii*), Erizo de mar (*Paracentrotus lividus* y *Sphaerechinus granularis*), Holoturia (*Holothuria tubulosa*, *Holothuria polii*, *Holothuria foscarii* y *Holothuria xantorii*) y Estrella de mar roja (*Echinaster sepositus*).

Se debe efectuar una campaña anual, coincidiendo con la floración de la fauna de la planta, debiendo remitir a la Consejería del territorio y de vivienda el correspondiente informe contemplando los aspectos más significativos.

#### **8.4.8.- Impactos de la desaladora de Valencia**

La intensa explotación de los acuíferos plantea las siguientes categorías de problemas:

a) Sobreexplotación de acuíferos:

- Generalizada en toda la provincia de Alicante (excepto los que drenan por las fuentes del Bullens, del Algar y de Polop).
- Planas costeras de Oropesa del Mar-Torreblanca, mitad sur de la Plana de Castellón y Plana de Sagunto, sector de Ondara-Dénia en Plana de Gandia-Dénia.
- Sector del Campo de Llíria-Carcaixent hasta traza de la acequia de Moncada.



b) Afecciones a ríos y manantiales:

- En la provincia de Alicante se ha conseguido la regulación de buena parte de las descargas naturales, produciéndose el agotamiento de algunos manantiales localizados muy significativos, no así de las emergencias que alimentan a las zonas húmedas.
- Las explotaciones de campos de pozos y de captaciones aisladas de gran rendimiento han producido mermas importantes en los manantiales de la Llosa, Quart, San Vicente, Pous Clars, Molinar y Algar.
- En el río Vinalopó las extracciones de agua subterránea han producido afecciones al caudal del río.
- Tienen también importancia las afecciones entre acuíferos, en particular las que afectan a los flujos de un acuífero por la incidencia de la explotación en otro, con merma de las posibilidades del segundo, tal es el caso de:
  - Borde Suroeste de la Plana de Castellón.
  - Contorno interior de la Plana de Sagunto.
  - Descarga a la Plana de Valencia desde Lliria-Burjassot.
  - Borde calizo que rodea al Valle del río Girona.

c) Degradación de la calidad.

Esta degradación tiene lugar de diversas formas:

- Intrusión marina en los acuíferos costeros de Plana Vinaròs-Peñíscola (Benicarló), Plana de Castellón (Moncofa), Plana de Sagunto, Plana de Gandia-Dénia (sector Ondara-Dénia y Javea).
- Intrusión de aguas salobres en la interfaz de los acuíferos con las sales de los diapiros triásicos: acuíferos alicantinos compartidos con la Comunidad Murciana y algún punto interior de Alicante.

- Aplicación de fertilizantes y reciclado por bombeo del excedente del agua de riego, lo que incrementa el contenido en nitratos y sulfatos del agua almacenada en los acuíferos. Esta circunstancia se da en todas las zonas regadas con aguas excedentes de riegos previos, con una intensidad tal que hipoteca la utilización del agua subterránea para usos domésticos en determinadas zonas de las planas costeras.

#### **8.4.9.- Impacto político de la desaladora de Oropesa**

El rechazo del PP a las desaladoras no tiene vigencia en Oropesa. El Ayuntamiento de este municipio castellonense, gobernado por el PP, ha aceptado la construcción de una segunda planta para cubrir el déficit hídrico ligado al desarrollo urbanístico. Así, además de la infraestructura que ya ha licitado la sociedad pública Acuamed, que condiciona el plan de la macrounificación Mundo Ilusión, Oropesa contará con otra planta en la zona de La Renegà.

Esta desaladora no correrá a cargo de la Administración. Serán los cuatro urbanizadores de la zona los que la pagarán.

La iniciativa tomada por los urbanizadores es original en la Comunidad Valenciana, según las fuentes consultadas, ya que hasta ahora siempre había sido la Administración la que había impulsado la construcción de este tipo de infraestructuras.

Para la ejecución del proyecto, el Consistorio firmó un convenio con los urbanizadores, que será ratificado en el próximo pleno con una modificación referente a los plazos. La variación se debe a que el compromiso de los urbanizadores está supeditado a la aprobación de los planes urbanísticos que presentaron y, aunque en la mayoría de los casos el Ayuntamiento ya ha dado el visto bueno, falta la adjudicación de una de las propuestas que determinaría la participación de la sociedad en la construcción de la desaladora. El convenio original señalaba agosto de 2006 como plazo para que el Ayuntamiento aprobase todos los programas y los cuatro urbanizadores procedieran a la construcción de la desaladora.

Sin embargo, uno de ellos, Mirador de Oropesa, aún no está aprobado, por lo que el plazo se ha prorrogado hasta agosto de 2007. La variación supone que si en esa fecha no están las propuestas urbanísticas aprobadas, la desaladora correrá a cargo de las sociedades que sí hayan obtenido el beneplácito del Ayuntamiento para ejecutar sus programas.

Según el convenio, el proyecto consiste en la construcción de una planta desaladora de agua de mar, la red arterial de distribución, salmueroducto y "la construcción de un emisario o sistema equivalente para la evacuación de Salmueras procedentes del rechazo de la planta desaladora".

El concejal del Bloc en el Ayuntamiento de Oropesa, Josep Lluís Romero, calificó de "disparate" no el hecho de aprobar esta nueva desaladora, sino que las cuatro urbanizaciones obtuvieran el visto bueno de la Consejería de Territorio para sus planes urbanísticos sin tener garantizados los recursos hídricos, como exige la ley.

El PP de Oropesa, al igual que el de Cabanes, ya aceptó que Acuamed construyera una planta desaladora para garantizar los recursos para el futuro parque temático Mundo Ilusión y su entorno. Aceptaron el proyecto pese al rechazo generalizado del PP a las desaladoras en otros municipios.

La posición de estos ayuntamientos choca con la promovida por el consejero de Territorio, Esteban González Pons, que ha anunciado que denunciará la desaladora que el Gobierno pretende construir en Torrevieja, alegando que se ubicará en una zona de "amortiguación" del perímetro de protección del parque natural de las Salinas de la Mata y los vertidos de salmuera resultantes de la desalación se realizarán en una zona declarada Lugar de Interés Comunitario (LIC) afectando a las praderas de Posidonia. Precisamente la zona de la sierra de la Renegà, donde Oropesa prevé su segunda desaladora, también es un LIC, con lo que el problema es dónde verterán la salmuera. Romero asegura que estarán "atentos para que se respete absolutamente el medio ambiente".

#### **8.4.10.- Utilización de energías renovables en Águilas/Gudalentin**

##### Instalación de energía solar fotovoltaica.

Para abastecer el riego de las zonas verdes se prevé la instalación de equipos fotovoltaicos autónomos, que proporcionen un riego por goteo automatizado desde la toma del agua tratada en las plantas.

Se definirá y diseñará como parte fundamental de las instalaciones fotovoltaicas un sistema de acumulación, que asegure la disponibilidad de energía eléctrica en periodos en los que los módulos fotovoltaicos no generen la potencia suficiente para abastecer los consumos.

##### Instalación de energía solar térmica.

##### Actuaciones específicas.

Se prevé cubrir las necesidades de iluminación exterior mediante la instalación de farolas solares autónomas.

Los edificios se diseñarán de tal forma que sus necesidades eléctricas y térmicas se cubran mediante la implantación de equipos de energías renovables y con la aplicación de criterios arquitectónicos bioclimáticos que supongan un ahorro de energía.

La disposición de los módulos fotovoltaicos así como la de los colectores térmicos será aquella que maximice la captación solar, asegurando que no exista proyección de sombras de ningún obstáculo sobre los elementos captadores.

## **8.5.- Conclusiones**

En este proyecto se ha mostrado cómo los posibles impactos ambientales asociados a la descarga de salmuera de una planta desaladora pueden minimizarse mediante una planificación y recomendaciones apropiadas. Las dimensiones de estos efectos serán diferentes según el tipo y tamaño de la planta desaladora. Hasta la fecha, la descarga de salmuera en el medio marino se ha descrito como el método más económico, y puede ser considerado para pequeñas desaladoras que empleen una dilución previa junto a una correcta localización del vertido. Sin embargo, y debido al reciente desarrollo de esta actividad en nuestro país, es importante que la construcción y el funcionamiento de las nuevas instalaciones desaladoras vayan acompañados por una rigurosa evaluación de impacto medioambiental. Posteriormente, además, debe realizarse un estricto programa de vigilancia ambiental para conocer la conducta de su descarga y disminuir cualquier tipo de impacto asociado.

A continuación en las siguientes Tablas se explica en resumen los impactos tanto negativos como positivos causados por las desaladoras.

<b>DESALADORAS</b>	
<b>Positivos</b>	<b>Negativos</b>
· Proporciona agua dulce donde el abastecimiento es escaso o nulo, constituye un complemento a otras fuentes de suministro.	· La ocupación del suelo requiere la instalación (rellenos, alteración del ecosistema costero, efectos negativos sobre flora y fauna, impacto paisajístico, destrucción de recursos culturales, etc.).
· Aumenta el desarrollo económico en las zonas costeras garantizando un suministro regular de agua para actividades industriales, agrícolas y de abastecimiento público.	· Impactos sobre el medio marino y sus actividades asociadas: interferencia de las infraestructuras con la pesca y navegación comercial, impacto visual, ruidos, etc.
· Es una alternativa local a la realización de obras de infraestructuras de mayor coste económico o ambiental, como grandes embalses o transferencias hidráulicas, que pueden traer consigo impactos de mayor intensidad o extensión.	· Vertidos al mar de distintos tipos: salmuera, producto de limpieza de membranas, reactivos químicos. <b>IMPORTANTE</b> repercusión sobre la Posidonia oceánica.
· No se ve afectado por las fluctuaciones climáticas y constituye una garantía de abastecimiento bajo situaciones de emergencia (sequías).	· Contaminación física: térmica (por la mayor temperatura del agua de rechazo) y acústica (debida principalmente a las bombas de alta presión y a las turbinas).
· Contribuye a mitigar la sobreexplotación de recursos no renovables como las aguas subterráneas, permitiendo la recuperación de los acuíferos costeros y previniendo los procesos de intrusión salina.	· Efectos negativos sobre la calidad del aire, destacando las emisiones de gases de efecto invernadero, y el elevado consumo de energía de las plantas que utilizan combustibles fósiles, que contribuyen al calentamiento global.
· Posibilita la utilización de energías renovables (eólica, solar), para la producción de agua desalada, erigiéndose en una alternativa a otros sistemas de mayor impacto ambiental.	· Constituyen factores limitantes la menor calidad del agua obtenida, que según algunos estudios podría ser perjudicial para la agricultura (como cítricos), y que la vida media de una planta sea limitada (20-25 años).

**Tabla 50.- Impactos positivos y negativos de las desaladoras.** Elaboración propia, 2007.

<p>+++ impacto positivo</p> <p>--- impacto negativo</p> <p>= indistinto</p>		
ACTUACIONES	Grado de impacto	CONSECUENCIAS
Uso de combustibles fósiles	---	Emisiones medias de 600 toneladas de CO <sub>2</sub> (gas causante del calentamiento global)
Mayor población	--	Mayor consumo de agua, más instalaciones, más impactos ambientales.
Energías renovables	+++	Menor impacto ambiental, reducción de gases efecto invernadero.
Uso de plantas desaladoras	-	Crea una dependencia económica para este proceso, tanto de energías como en nuevas tecnologías.
Disminución de recursos hídricos	--	Demanda de recursos hídricos afectando a la agricultura, industria y uso doméstico-urbano.
Uso de energía eléctrica para el proceso de desalación (costes)	=	Amortizar los costes ambientales, instalación y costes de proyecto.
Usos de pozos para evacuar la salmuera	++	Evitará contaminación marina
Diseño de plantas auxiliares para posibles ampliaciones	++ ---	Ampliar los recursos hídricos (+) Nuevas obras de construcción, aumentarán los impactos ambientales (-)
Según los usos posteriores de los recursos hídricos	=	Economizará los costes según el uso doméstico, agrícola, industrial, urbano.
Aprovechamiento plantas desaladoras	+++	Rendimiento máximo de las plantas y sus respectivos depósitos
Usar una técnica de desalación adecuada	+++	Constituye un menor coste de la planta en general, adaptación de la desaladora a la zona y ayudará a un mejor rendimiento.
Aspecto político	=	Según las acciones del partido político gobernante.
Aspecto social	=	Según la aceptación de la población sobre lo que conlleva las implantaciones de las desaladoras.

<p>+++ impacto positivo</p> <p>--- impacto negativo</p> <p>= indistinto</p>		
ACTUACIONES	Grado de impacto	CONSECUENCIAS
Estudio previo de viabilidad del proyecto	+++	Conseguir los objetivos, implementación de tecnologías avanzadas probadas en el proceso de desalación. Evitará impactos.
Vertido de la salmuera	---	Impacto negativo para la flora y la fauna
Construcción de emisarios submarinos	-	Efecto de la obra del emisario submarino perjudica más que el propio vertido de salmuera
Limpieza de membranas y filtros	++ --	Mejor rendimiento de la planta desaladora (+) Los restos de esta limpieza, mínimo se vierten una vez al día. Productos muy contaminantes (-)

**Tabla 51.-** Resumen de los impactos más importantes de las desaladoras. Elaboración propia, 2007.



## **9.- CONCLUSIONES FINALES**

## 9.- Conclusiones finales

La información obtenida en este proyecto puede ser considerada muy útil para su aplicación a futuros proyectos de plantas desaladoras en la cuenca mediterránea.

Los recursos más importantes en la cuenca mediterránea son los de reutilización de aguas. Actualmente el agua por desalación, también está cogiendo importancia, ya que así se puede incrementar el recurso hídrico para los diferentes usos que están más deficitarios. La escasez de recursos hídricos naturales, ha obligado a obtener agua potable por otros medios, como la desalación del agua del mar y salobre.

Los dos principales problemas importantes que nos encontramos ante la desalación son medioambientales y económicos. La incorporación de avances técnicos en los últimos años, ha hecho posible que el consumo energético de las plantas desaladoras haya disminuido y con ello el coste de agua desalada también haya descendido notablemente. Gracias a los estudios previos que se hacen sobre la viabilidad técnica, económica y ambiental de las desaladoras, han hecho que los impactos en general pero sobre todo los ambientales, se hayan reducido.

Cada vez más se intenta conseguir que las plantas desaladoras provoquen el menor impacto ambiental posible, con esto se quiere decir, que no del todo son sostenibles, sobre todo porque muchas de las plantas desaladoras en funcionamiento, instaladas a principios de los años 80 y 90, no se centraban en poder conseguir un desarrollo sostenible, sino que eran unas construcciones de obras de explotación hidráulicas sin plantearse los impactos medioambientales que pudieran provocar.

De los vertidos de salmuera, se intenta hacer una reutilización para energía, haciendo actualmente estudios sobre ellos ya que es la parte más problemática de la desalación. Se intenta reutilizar al máximo la salmuera para la obtención de sal para diferentes usos. En la zona del mediterráneo, estos contenidos son evocados al mar, es la forma por ahora, más barata de eliminarlos. Sus altos contenidos contaminantes y salinos, hacen que al evocar este vertido al mar, se produzca una hipersalinidad en el agua, lo que conlleva sus impactos en todo el ecosistema marino.

Las plantas desaladoras, las principales metas que intentar seguir y seguirán en un futuro son:

- La utilización de energías renovables, todo esto llevado a cabo bajo un estudio de costes energéticos y una producción y reutilización de la energía.
- La disminución de impactos medioambientales, mediante el control de vertido de la salmuera (el más importante y problemático de los impactos), con el estudio de las zonas donde se ubicarán las construcciones intentando sobretudo el alejamiento de las plantas desaladoras de las zonas pobladas (evitando así problemas acústicos y vibraciones producidas por las plantas desaladoras).
- Haciendo un estudio individualizado de cada caso, utilizando el método de desalación más apropiado en función de la calidad de agua a tratar, del uso del agua tratada y de las posibilidades económicas y energéticas de la región.

Antes de instalar una planta desaladora, es necesario analizar los recursos hídricos naturales disponibles y dar prioridad a mantenerlos y en su caso hacer una gestión adecuada mediante leyes y políticas centrándose también en la problemática que supone la contaminación de los recursos naturales. Cada vez más la investigación científica aporta soluciones viables para resolver el problema de la falta de agua. Así la desalación, sin ser lo que se considera “la panacea”, sí que puede contribuir eficazmente en muchos casos a la escasez de agua.

Hay que tener en cuenta, que el agua no es un recurso infinito. Se ha de ser capaz de fomentar y consolidar políticas que eviten el crecimiento incontrolado de un abuso de los recursos naturales. Cada vez, se ha de dar nuevos planteamientos a la gestión del agua ya que evoluciona la tecnología y también la sociedad con lo que no podemos pensar en un aumento indefinido del consumo del agua como si no tuviera coste alguno para la sociedad. Se precisa de una mejor gestión de los recursos ya existentes.

Al implantarse las primeras desaladoras, los costes de la desalación eran más elevados, como en todos los casos de implantaciones de nuevas tecnologías. El desarrollo de éstas ha repercutido en unos cambios notables en los precios de la utilización del agua así como en el abaratamiento de los costes de energía.

Son muchos los procesos que existen actualmente en el mundo pero los que más predominan son los de destilación de Flash Multietapa y el método de Ósmosis Inversa.

Esto es debido a la relación proporcional entre el consumo energético y la capacidad de desalación.

La tecnología actual permite que la calidad obtenida por cualquier método de desalación sea apta para el consumo humano. Tan sólo aplicando en algunos casos un pequeño postratamiento. No sólo se consigue transformar el agua salada en agua dulce, sino que también se consigue dar un sabor igual de bueno que cualquier agua envasada potable. En el caso de los usos de agua para uso agrícola o industrial, es necesario hacer un estudio de forma individualizada ya que no todos los receptores del agua desalada son aptos sin un método previo que cumpla holgadamente unos ciertos requerimientos.

La instalación de plantas desaladoras en España se plantea como solución para áreas localizadas. España es el país más puntero en tecnologías de desalación por Ósmosis Inversa (de ello su masiva implantación en nuestro país). En la actualidad no se contempla ningún proceso nuevo de desalación, cabe esperar a medio plazo el perfeccionamiento de los actuales.

España es el quinto país en capacidad de desalación instalada, detrás de los Estados del Golfo Pérsico, con Arabia Saudita a la cabeza. Es también el país Europeo más avanzado en tecnología y capacidad instalada por el método de Ósmosis Inversa.

En la Costa mediterránea también la tecnología que más predomina es la de Ósmosis Inversa, y la captación del agua de mar, ya que es la opción más barata con diferencia en la situación actual del mercado energético y de otros métodos de desalación. En constante evolución ésta tecnología será dominante y la más importante en la Cuenca del mediterráneo. También según el uso de la tecnología se obtendrá una mejor calidad y un mejor precio del agua.

La localización de las plantas desaladoras ha de ser adecuada, se intenta que sea lo más próximo a los núcleos de población (manteniendo siempre un margen para evitar impactos como los acústicos, vibraciones y como no, impacto visual) más importantes del litoral mediterráneo y ciudades incluso con baja altitud porque así se hace prácticamente despreciable el coste del transporte a la red de distribución de las poblaciones establecidas.

Los usos de agua desalada pueden ir destinados a abastecimiento urbano y turístico, consumo agrario o industrial. Tanto en España como en el mediterráneo el uso del agua desalada es mayoritariamente para uso urbano, seguido del agrario.

Toda la costa del mediterráneo podría usar más energías renovables como la solar (sobre todo en Andalucía) y eólica, así se generaría un menor impacto ambiental. Todavía es necesario insistir por parte de los gobiernos de esta zona costera para fomentar el uso y producción de dichas energías.

El aumento cada vez más de la población, ya sea por inmigración, por turismo o natalidad, hace que haya un aumento de la demanda de agua, con lo cual es necesario utilizar métodos alternativos para la generación de recursos hídricos para poder abastecer a toda la población. Por esta razón, hoy en día esta en boca de casi todos, la tecnología de la desalación.

Actualmente existe una mayor concienciación política y social de los impactos medioambientales atribuidos a las plantas desaladoras. Sin embargo, es necesario crear una legislación común para todas las comunidades autónomas.

Dejar claro que todavía hay que hacer un gran estudio sobre los impactos ambientales que provocan las desaladoras, éstos todavía no están claros. Falta mucho que estudiar y que avanzar, tanto en el mediterráneo (que es lo que se ha estudiado en este proyecto) como en todas las zonas donde se implantan.

## **10.- REFLEXIÓN**

## 10.- Reflexión

La principal conclusión del presente proyecto es que desde todos los puntos de vista estudiados, técnico, económico, medioambiental, político y social, es viable la ejecución de plantas desaladoras. Necesitando por supuesto día a día una mejora en todos los aspectos nombrados.

Teniendo en cuenta que hoy en día el tema de la desalación es actualidad mediática, me he podido dar cuenta que todavía falta mucha información sobre este tema y que es quizás comentado porque es una tecnología relativamente nueva.

Durante la realización de este proyecto, he encontrado dificultad para obtener información, no sólo en internet (que es uno de los medios de comunicación más importantes) sino en bibliotecas e incluso en empresas dedicadas a la gestión exclusivamente de los recursos hídricos. Teniendo en cuenta lo anteriormente dicho puedo concluir dos aspectos, el primero, es que no existe información clara sobre el tema quizás por intereses políticos y económicos que puedan hacer dificultosa la difusión del mismo y de sus impactos ambientales. Y segundo, la desinformación de la población en general provoca un desinterés por el futuro de este recurso ambiental tan escaso.

Una de las cosas que más me llamó la atención, es que en dos de las empresas con las que me pude poner en contacto, AEDyR (asociación española de desalación y reutilización) y ACA (agencia catalana del agua), ambas me dijeron que para obtener información, me tenía que asociar y pagar por ello. Si la gente no tiene suficiente información quizás es porque tampoco nos dan facilidades para ello.

Una desaladora sostenible todavía está por llegar. Si que pueden causar menos impactos cada vez, pero todavía hay muchos aspectos que se tienen que mejorar. Aspectos políticos, sociales, económicos y ambientales. Hacer un exhaustivo estudio de todos estos aspectos para mejorar cada vez más en esta tecnología.

## **11.- BIBLIOGRAFÍA**



## 11.- Bibliografía

- <http://portal.unesco.org> - UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). Última consulta: 6/6/2007.
- <http://www.un.org//spanish/> - Organización de las Naciones Unidas. Última consulta: 6/6/2007.
- <http://www.fao.org> - AQUASTAT (Sistema de información sobre el agua y la agricultura). Última consulta: 6/6/2007.
- <http://hisagua.com> – Hispagua (Sistema español de información sobre el agua). Última consulta: 6/6/07.
- [www.sostenibilidad-es.org](http://www.sostenibilidad-es.org) - Observatorio de la sostenibilidad en España. Última consulta: 6/6/2007.
- <http://www.infobae.com> - Noticias de actualidad. Última consulta: Última consulta: 6/6/2007.
- <http://www.usgs.gov> - U.S. Geological Survey. Última consulta: 6/6/2007.
- <http://www.nrdc.org> - National Resources Defense Council. Última consulta: 6/6/2007.
- <http://circe.cps.unizar.es/> - Fundación Circe. Universidad de Zaragoza. Desalación como alternativa al Plan Hidrológico Nacional. 2001. Última consulta: 6/6/2007.
- <http://www.epsea.org/> - El paso Solar Energy Association. Última consulta: 6/6/2007.
- <http://www.ua.es/> - Universidad de Alicante. Última consulta: 6/6/2007.
- <http://www.rgsystems.org> – Fabricantes y Exportadores – Ingeniería de Ósmosis Inversa.
- <http://www.fmr.utn.edu.ar> - Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza.

- <http://www.aguadecalidad.com> - Plantas purificadoras, Ósmosis Inversa, agua destilada. Última consulta: 6/6/2007.
- <http://www.sld.cu> - Red de salud de Cuba. Última consulta: 6/6/2007.
- <http://www.mma.es> - Ministerio de Medio Ambiente. Última consulta: 6/6/2007.
- <http://es.wikipedia.org> - La enciclopedia Libre. Última consulta: 6/6/2007.
- <http://www.gmi.org> - Global Mapping Internacional.
- <http://www.refugees.org> - U.S Comitee for Refugess anv Immigrants. Última consulta: 6/6/2007.
- <http://www.usaid.gov> - United Status Agency Internacional developement. Última consulta: 6/6/2007.
- <http://www.goway.com> - Travel Web. Última consulta: 6/6/2007.
- <http://www.elsenado.es> – Senado. Última consulta: 6//2007.
- <http://www.greenpeace.org> – Página web oficial de Greenpeace. Última consulta: 6/6/2007.
- <http://www.dices.net> – Cartografia de España. Última consulta: 6/5/2006.
- <http://sostenibilitat.upc.edu> – Portal de sostenibilidad. Última consulta: 6/5/2006.

- <http://library.thinkquest.org> - Oracle ThinkQuest – Education Foundation. Última consulta: 6/6/2007.
- <http://www.mapzones.com> – World Maps Informantion. Última consulta: 6/6/2007.
- <http://www.dfat.gov.au> – Australian Government – Despartament of Foreing Affairs and Trade. Última consulta: 6/6/2007.
- <http://www.guiasdelmundo.com> - Mapas y Guías de todo el mundo. Última consulta: 6/6/2007.
- <http://club.telepolis.com> – España por Autonomías. Última consulta: 6/6/2007.
- <http://www.xabia.com> - Toda la información que necesita sobre Javea. Última consulta: 6/6/2007.
- <http://www.bcn.es> – Ayuntamiento de Barcelona. Última consulta: 6/6/2007.
- <http://valnecia.es> – Ayuntamiento de Valencia. Última consulta: 6/6/2007.
- <http://www.murcies.es> – Ayuntamiento de Murcia. Última consulta: 6/6/2007.
- <http://www.aytoalmeria.es> – Ayuntamiento de Almería. Última consulta 6/6/2007.
- <http://www.ayto-malaga.es> – Ayuntamiento de Málaga. Última consulta 6/6/2007.
- Raphael Semita. Desalination: Present and Future. Revista “International Water Resources”, 2000.
- Manuel Fariñas Iglesias. Ósmosis Inversa. Fundamentos, tecnología y aplicaciones, McGrawHill. España, 1999.
- AEDyR (Asociación española de desalación y reutilización), 2007.
- “Costes y medioambientales de la desalación de agua de mar” Dr. Manuel Latorre, 2004.
- Ministerio de Economía (Dirección General de Política Energética y Minas), 2007

- Manuel Fariñas Iglesias. Ósmosis Inversa. Fundamentos, tecnología y aplicaciones. Mc GrawHill, 1999.
- Abu Qdais (1999); Handbury, Hodgkiess y Morris (1993); Medina (2000).
- Rueda, Zorrilla, Bernaola y Hervás, CIRCE universidad de Zaragoza, 2000.
- AEDyR (Asociación Española de Desalación y Reutilización), 2005.
- La Revista “El Manantial” (número 23, año 5) junio 2004.
- Grupo AGBAR, agua y saneamiento, 2004.
- Hawai University, 2000.
- Goto y otros, 1999.
- La verdad Digital S.L, 2007.
- Fariñas (1999). Wangnick (2.000). PHN (Gobierno de Aragón, 2000).
- Trasvases y la desalación. Tiza y Pizarra, 2005.
- Institut Cartogràfic de Catalunya, 2007.
- ACA (Agència Catalana de l’aigua), 2007.
- INE (Instituto Nacional de Estadística), 2006.
- Alberto Vázquez Figueroa, revista Magazine Diciembre 2006.
- Energías Renovables IDEA (Dirección General de Política Energética y Minas)

## **12.- ANEXOS**

## 12- Anexos

### I.- Cronología de conflictos

FECHA	PAISES EN CONFLICTO	CAUSAS DEL CONFLICTO	ENFRENTAMIENTO ARMADO	DESCRIPCIÓN	FUENTE DOCUMENTAL
1503	Floencia y Pisa	Instrumento militar	Si	Miguel Angel y Maquavelo plantearon desviar el río Arno para evitar que discurriera por Pisa	Honan, 1996
1642	China; Dinastía Ming	Instrumento militar	Si	Los diques de encauzamiento del río Huang He fueron destruidos con fines militares. En 1642, "hacia el fin de la dinastía Ming (1368-1644), el general Gao Mingheng uso la misma táctica cerca de Kaifeng para sofocar una rebelión campesina	Hillel, 1991
1863	Estados Unidos de Norteamérica	Instrumento militar	Si	En la guerra civil, durante la campaña contra Vicksburg, el general U.S. Grant destruyó numerosos diques de encauzamiento como arma de agresión contra los Confederados.	Grant, 1885 Barry, 1997
1898	Egipto, Francia e Inglaterra	Instrumento político y militar. Control de los recursos hidráulicos	Maniobras militares	Un conflicto armado estuvo a punto de ocurrir entre Inglaterra y Francia cuando una expedición francesa intentó controlar la cabecera del Nilo Blanco. Mientras se negociaba un acuerdo entre ambos bandos, quedó patente "la dramática dependencia de Egipto con el Nilo, y condicionó la postura de los gobernantes desde entonces".	Moorhead, 1960
1924	Valle Owens, Los Angeles, California	Instrumento político, control de los recursos hidráulicos, terrorismo y desarrollo problemático	Si	El acueducto del Valle de Los Angeles sufrió numerosos atentados con objeto de evitar el trasvase desde el Valle de Owen al de Los Angeles.	Reisner, 1986, 1993
1935	California, Arizona	Instrumento político y desarrollo problemático	Maniobras militares	El gobierno de Arizona movilizó a la milicia y Guardia Nacional en la frontera con California para impedir la construcción de la presa de Parker y los trasvases desde el río Colorado. La disputa se resolvió finalmente en los tribunales.	Reisner, 1986, 1993
1938	China y Japón	Instrumento y objetivo militar	Si	Chiang Kai-Shek ordenó la destrucción de los diques de encauzamiento de la sección de Huayankou del río Huang He (Amarillo) para inundar las zonas amenazadas por el ejército japonés. Los diques occidentales de Kaifeng fueron dinamitados causando la inundación de la llanura aluvial; la inundación destruyó parte del ejército invasor quedando inmovilizado en el lodo el armamento pesado aunque esto no impidió que el cuartel central del gobierno nacionalista fuera ocupado en octubre. La inundación anegó una extensa zona cuya superficie se estimó entre 3 000 y 50 000 kilómetros cuadrados y causó entre "decenas de miles" y un "millón" de víctimas.	Hillel, 1991, Yang Lang, 1989, 1994
1940-1945	Conflicto multilateral	Objetivo militar	Si	Durante la Segunda Guerra Mundial, numerosas centrales hidroeléctricas fueron reiteradamente atacadas como objetivo militar.	Gleick, 1993
1943	Inglaterra y Alemania	Objetivo militar	Si	Las fuerzas aéreas bombardearon sistemáticamente presas en los ríos alemanes de Mohne, Sorpe y Eder (16 y 17 de mayo). La presa del río Mohne se rompió causando 1 200 muertos y la rotura en cadena de las presas existentes en una longitud de 50 km aguas abajo.	Kirschner, 1949
1944	Alemania, Italia, Inglaterra, Estados Unidos de Norteamérica	Instrumento militar	Si	En enero y febrero las fuerzas alemanas provocaron importantes desagües desde la presa de Isoletta, en el río Liri, causando la destrucción de las fuerzas de asalto británicas que estaban cruzando el río Garigliano, aguas abajo del Liri. Los alemanes provocaron la inundación del valle del río Rapido, a la sazón ocupado por el ejército norteamericano.	Cuerpo de Ingenieros del Ejército norteamericano, 1953
1944	Alemania, Italia, Inglaterra, Estados Unidos de Norteamérica	Instrumento militar	Si	El ejército alemán causó la inundación de Pontine Marches al inutilizar las bombas de achique que los aliados habían dispuesto para controlar la cabeza de playa de Anzio en 1944. Más de 40 millas cuadradas de terreno resultaron inundadas a la vez que una franja de más de 30 millas de playas resultaron inutilizadas para ser desembarcadas utilizando vehículos anfibia.	Cuerpo de Ingenieros del Ejército norteamericano, 1953
1944	Alemania, Fuerzas aliadas	Instrumento militar	Si	Los alemanes causaron la inundación del río Ay, en Francia, y crearon un lago de dos metros de calado y varios kilómetros de longitud. Con esta acción,	Cuerpo de Ingenieros del Ejército nortea-

**Tabla 52.- Cronología de conflictos del agua.** Peter Gleick, del Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security, 2000.

FECHA	PAISES EN CONFLICTO	CAUSAS DEL CONFLICTO	ENFRENTAMIENTO ARMADO	DESCRIPCIÓN	FUENTE DOCUMENTAL
				retardaron el avance de los aliados hacia Saint Lo, un centro de comunicaciones alemán en Normandía.	mericano, 1953
1944	Alemania, Fuerzas aliadas	Instrumento militar	Sí	Durante la batalla de Bulge – invierno de 1944-45 -, los alemanes inundaron el valle del río Ill, formando un gran lago de 16 km de largo, 3-6 km de ancho y 2 m de profundidad, y ocasionaron un importante retraso del avance norteamericano hacia el Rin.	Cuerpo de Ingenieros del Ejército norteamericano, 1953
1947 hasta hoy	Bangladesh, India	Desarrollo problemático, control de recursos hidráulicos	No	El río Ganges quedó dividido entre Bangladesh y la India: la construcción de la presa de Farakka por parte de los indios a partir de 1962, incrementó la tensión entre ambos países. Se firmaron sucesivos acuerdos vigentes en 1977-82, 1982-84 y 1985-88. Un acuerdo con 30 años de vigencia se firmó en 1996.	Samson & Charrier, 1997
1947 a década de 60	India, Pakistán	Desarrollo problemático, control de recursos hidráulicos e instrumento político	No	La formación de ambos estados dejó a la cuenca del río Indostán dividida entre India y Pakistán. Surgieron disputas entre ambos países motivados por el uso del agua para regadíos. En 1960 se llegó a un acuerdo después de doce años de negociaciones patrocinadas por el Banco Mundial.	Bingham et al, 1994 y Wolf, 1997
1948	Árabes e Israelíes	Instrumento militar	Sí	Durante la primera guerra entre los árabes y los israelíes, los primeros cortaron el abastecimiento de agua a Jerusalén occidental.	Wolf, 1995 y 1997
1950	Corea, Estados Unidos de Norteamérica, otros	Objetivo militar	Sí	Durante la guerra de Corea, fueron atacadas las presas del río Yalu, que servían a Corea del Norte y China.	Gleick, 1993
1951	Corea, Naciones Unidas	Objetivo e instrumento militar	Sí	Corea del Norte provocó desembalses desde la presa de Hwachon, dañando los puentes flotantes que utilizaban las fuerzas de las Naciones Unidas en el valle del Pukhan. Las fuerzas norteamericanas destruyeron las compuertas de aliviadero.	Cuerpo de Ingenieros del Ejército norteamericano, 1953
1951	Israel, Jordania, Siria	Instrumento político y militar y desarrollo problemático	Sí	Jordania hizo público sus intenciones de regar el valle del Jordán cerrando el río Yarmouk; por su parte, Israel respondió desecando las zonas húmedas de Huleh, emplazadas en la zona desmilitarizada entre Israel y Siria. En la frontera de ambos países tuvieron lugar escaramuzas.	Wolf, 1997 Samson & Charrier, 1997
1953	Israel, Jordania, Siria	Instrumento político y militar y desarrollo problemático	Sí	Israel empezó a construir, con fines de riego, la conducción para transferir caudales desde el norte del mar de Galilea, en la cuenca del río Jordán, al desierto de Negev. Acciones militares sirias, junto con el rechazo internacional obligaron a Israel a modificar la toma de la conducción y emplazarla en el mar de Galilea.	Samson & Charrier, 1997
1958	Egipto, Sudán	Instrumento político y militar y desarrollo problemático	Sí	Egipto envió una fallida expedición militar a territorios en disputa en medio de negociaciones relacionadas con el Nilo, las elecciones generales en Sudán y una consulta en Egipto sobre la unificación entre Egipto y Sudán. Se firmó el Tratado del Nilo entre ambos países cuando se formó un gobierno pro-egipcio en Sudán.	Wolf, 1997
Década de 1960	Vietnam del Norte, Estados Unidos de Norteamérica	Objetivo militar	Sí	Infraestructuras de abastecimiento y regadío fueron bombardeadas durante la guerra. Se contabilizaron hasta 661 tramos de diques que fueron destruidos o dañados.	Gleick, 1993 Zemmal, 1995
1962 a 1967	Brasil, Paraguay	Instrumento político y militar, control de recursos hidráulicos	Maniobras militares	En 1962, Brasil interrumpió, mediante una demostración unilateral de fuerza que devino en la ocupación de las Cataratas de Guaira, las negociaciones conjuntas con Paraguay sobre el desarrollo del río Paraná. Las fuerzas militares fueron retiradas en 1967, como resultado de un acuerdo para la formación de una comisión conjunta para el desarrollo de la región.	Murphy y Sabadell, 1986
1963-1964	Etiopía, Somalia	Instrumento político y militar, Desarrollo problemático	Sí	La definición de fronteras en 1948 dejó a nómadas somalíes en territorio etíope; surgieron escaramuzas en territorios en disputa en el desierto de Oga-den, donde existen recursos hídricos y petrolíferos. El cese de las hostilidades se negoció después de numerosos muertos.	Wolf, 1997
1965-1966	Siria, Israel	Instrumento político y militar, Desarrollo problemático, Control de recursos	Sí	Surgieron enfrentamientos armados destinados a impedir cualquier plan árabe destinado a desviar el río Jordán y adelantarse al Trasvase Nacional Israelí; Siria paralizó la construcción de las obras de desvío en 1966.	Wolf, 1995, 1997

**Tabla 52.- Cronología de conflictos del agua.** Peter Gleick, del Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security, 2000.

FECHA	PAISES EN CONFLICTO	CAUSAS DEL CONFLICTO	ENFRENTAMIENTO ARMADO	DESCRIPCIÓN	FUENTE DOCUMENTAL
		hidráulicos			
1966-1972	Vietnam, Estados Unidos de Norteamérica	Instrumento militar	Si	Estados Unidos de Norteamérica intentaron efectuar la "producción de nubes" en Indochina con objeto de paralizar el trasiego de material por la ruta Ho Chi Minh	Plant, 1995
1967	Israel, Siria	Objetivo e instrumento militar	Si	Israel destruyó las obras de desvío de la cabecera del río Jordán. Durante la Guerra de los Seis Días, Israel ocupó los Altos del Golán, incluyendo el Banias, afluente del río Jordán. Israel ocupó la margen occidental.	Gleick, 1993 Wolf, 1995 Wallenstein & Swain, 1997
1969	Israel, Jordania	Instrumento y objetivo militar	Si	Sospechando que Jordania estaba derivando caudales desde el río Yarmouk, Israel organizó dos incursiones destinadas a destruir el Canal oriental de Ghor. Como resultado de negociaciones secretas patrocinadas por USA, se llegó a un acuerdo en 1970.	Samson & Charrier, 1997
Década de 1970	Argentina, Brasil, Paraguay	Objetivos políticos, desarrollo conflictivo	No	El anuncio de Brasil y Paraguay de construir una presa en Itaipú, en el río Paraná, motivó la preocupación de Argentina en relación con los efectos medioambientales en los tramos de aguas abajo; consecuentemente este país exigió que fuera consultado durante la fase de proyecto, a lo que se opuso Brasil. En 1979 se llegó a un acuerdo en el que se aceptó la construcción de las presas de Itaipú – que interesa a Brasil y Paraguay -, y de Yaciretá, promovida por Argentina.	Wallenstein & Swain, 1977
1974	Iraq, Siria	Instrumento y objetivo militar, instrumento político, Desarrollo problemático	Maniobras militares	Iraq amenazó con bombardear la presa de al-Thawra y movilizó tropas a lo largo de la frontera, alegando que la citada presa disminuía los caudales del río Eufrates en Iraq.	Gleick, 1994
1975	Iraq, Siria	Instrumento militar y político, Desarrollo problemático	Maniobras militares	Como se estaba produciendo el llenado de las presas de cabecera del río Eufrates durante un periodo de sequía relativa, Iraq denunció como "intolerable" el rango de caudales que llegaban a su territorio y solicitó la participación de la Liga Árabe. Los sirios alegaron que recibían menos de la mitad de los valores medios del río y forzaron la organización de un Comité Técnico de la Liga Árabe para que mediara en el conflicto. En mayo, Siria cerró su espacio aéreo a los vuelos iraquíes y ambos países movilizaron tropas hacia las respectivas zonas fronterizas. Finalmente, Arabia Saudita medió con éxito en el conflicto.	Gleick, 1993, 1994 Wolf, 1997
1975	Angola, Sud África	Objetivo militar	Si	Tropas sudafricanas invadieron territorio angoleño para proteger el complejo hidroeléctrico de Ruacana, incluyendo la presa de Gové, en el río Kunene. El objetivo que perseguían era tomar posesión y proteger los recursos hidráulicos de África sud occidental y Namibia.	Meissner, 2000
Desde 1978	Egipto, Etiopía	Instrumento político, desarrollo problemático	No	Surrieron tensiones en torno al Nilo originadas por las pretensiones de Etiopía de construir presas en la cabecera del Nilo Azul; estos hechos llevaron a Egipto a declarar la importancia capital del agua. "El único motivo que pudiera obligar a Egipto a entrar otra vez en guerra es el agua" (Anwar Sadat, 1979). "La próxima guerra en nuestra región estará motivada por el agua, no por cuestiones políticas" (Boutros Ghali, 1988).	Gleick, 1991, 1994
1981	Irán, Iraq	Instrumento y objetivo militar	Si	Durante el conflicto entre Iraq e Irán, este último país anunció haber bombardeado un complejo hidroeléctrico en el Kurdistán causando un apagón en extensas zonas de Iraq.	Gleick, 1993
1980-1988	Irán, Iraq	Instrumento militar	Si	Irán derivó caudales importantes para inundar posiciones militares iraquíes.	Plant, 1995
1988	Angola, Sud África, Cuba	Instrumento y objetivo militar	Si	Fuerzas cubanas y angoleñas organizaron un ataque por tierra y aire a la presa de Caluque, causando daños considerables en el cuerpo de presa, cortando el suministro eléctrico e interrumpiendo y destruyendo parcialmente la conducción a Owamboland.	Meissner, 2000
1982	Israel, Líbano, Siria	Instrumento militar	Si	Israel cortó el abastecimiento de agua a Beirut durante el sitio al que sometió a esa ciudad.	Wolf, 1997
1986	Corea del Norte, Corea del Sur	Instrumento militar	No	El anuncio de Corea del Norte de construir la presa de Kumgansan con fines hidroeléctricos, emplazada en un afluente del río Han, aguas arriba de Seul,	Gleick, 1993

**Tabla 52.- Cronología de conflictos del agua.** Peter Gleick, del Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security, 2000.



FECHA	PAISES EN CONFLICTO	CAUSAS DEL CONFLICTO	ENFRENTAMIENTO ARMADO	DESCRIPCIÓN	FUENTE DOCUMENTAL
				llevó a Corea del Sur a mostrar su preocupación ante la posibilidad de que la presa pudiera ser utilizada como un instrumento militar o de destrucción ecológica.	
1986	Lesotho, Sud África	Objetivo militar, control de recursos hidráulicos	Sí	Sud África apoyó un golpe de estado en Lesotho derrocando al gobierno que apoyaba al ANC – African National Congress-, mantenía medidas anti-apartheid y posiciones particulares en relación con los recursos hidráulicos. El nuevo gobierno resultante del golpe, firmó inmediatamente el Acuerdo sobre el Agua de las Tierras Altas de Lesotho.	American University, 2000 b
1990	Sud África	Desarrollo problemático, control de recursos hidráulicos	No	El Consejo pro apartheid de la ciudad de Wesseltown cortó el abastecimiento de agua a los barrios habitados por negros, después de las manifestaciones de protesta que tuvieron lugar, con la participación de más de cincuenta mil personas, demandando unas condiciones de vida y saneamiento dignas,	Gleick, 1993
1990	Iraq, Siria, Turquía	Desarrollo problemático, instrumento y objetivo militar	No	Los caudales circulantes por el Eufrates fueron interrumpidos durante un mes debido a las obras de la presa de Ataturk, que es parte del Proyecto Anatolia. Con tal motivo, Siria e Iraq denunciaron este hecho como la disponibilidad por parte de Turquía de un arma de guerra. A mediados de los años 90, el presidente turco Turgut Ozal amenazó con restringir los caudales fluyentes hacia Siria debido a su apoyo a los independentistas kurdos.	Gleick, 1993, 1995
Desde 1991	Karnataka, Tamil Nadu (India)	Desarrollo problemático, control de recursos hidráulicos	Sí	La violencia surgió como resultado del rechazo de Karnataka a una Resolución del Tribunal de Aguas de Cauvery, apoyado por el Tribunal Supremo Indio. El tribunal de Aguas fue creado en 1990 con objeto de resolver dos décadas de disputas entre Karnataka y Tamil Nadu motivadas por derechos de riego en el río Cauvery.	Gleick, 1993 American University, 2000 a
1991	Iraq, Kuwait, Estados Unidos de Norteamérica	Objetivo militar	Sí	Durante la guerra del golfo, las fuerzas iraquíes en retirada destruyeron una parte importante de las infraestructuras de desalación de Kuwait.	Gleick, 1993
1991	Irak, Turquía, Naciones Unidas	Instrumento Militar	Sí	En las Naciones Unidas se debatió la problemática de la presa de Ataturk y la posibilidad de que fuera utilizada por Turquía para limitar los caudales del Eufrates.	Gleick, 1993
1991	Iraq, Kuwait, Estados Unidos de Norteamérica	Objetivo militar	Sí	Los sistemas de abastecimiento y saneamiento de Bagdad fueron objetivos de las fuerzas aliadas.	Gleick, 1993
1992	Bosnia, Serbios de Bosnia	Instrumento militar	Sí	El sitio al que sometieron los serbios a Sarajevo incluyó la interrupción del suministro eléctrico y de agua. La falta de energía ocasionó la interrupción del funcionamiento de las dos estaciones de bombeo principales que abastecían a la ciudad, a pesar del compromiso de los dirigentes serbios con las Naciones Unidas de no utilizar los servicios básicos como un arma de guerra. Los serbios controlaron las válvulas de regulación de los aprovechamientos subterráneos que suministraban más del 80 % del agua de Sarajevo; la limitación en el abastecimiento fue utilizado para intentar sojuzgar a los bosnios.	Burns, 1992 Husarska, 1995
Desde 1993	Iraq	Instrumento militar	No	Con objeto de reprimir la oposición interna, Sadam Hussein envenenó y limitó los recursos hidráulicos de la región sur de Ma'dan, donde se encuentran los musulmanes chiitas. El Parlamento Europeo y la Comisión de Derechos Humanos de las Naciones Unidas rechazaron el uso del agua como un arma.	Gleick, 1993 American University, 2000 c
1993	Yugoslavia	Instrumento y objetivo militar	Sí	La presa de Peruca fue destruida durante la guerra.	Gleick, 1993
1995	Ecuador, Perú	Instrumento y objetivo militar	Sí	Escaramuzas armadas tuvieron lugar entre ambos países debidas a diferencias sobre el control de la cabecera del río Cenepa. Wolf argumenta que estos hechos fueron el producto de diferencias en los límites territoriales, en las que el agua no es un	Samson & Charrier, 1997 Wolf, 1997

**Tabla 52.- Cronología de conflictos del agua.** Peter Gleick, del Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security, 2000.

FECHA	PAISES EN CONFLICTO	CAUSAS DEL CONFLICTO	ENFRENTAMIENTO ARMADO	DESCRIPCIÓN	FUENTE DOCUMENTAL
				elemento determinante.	
1997	Singapur, Malasia	Instrumento político	No	Malasia suministra aproximadamente la mitad del agua a Singapur; en 1997 amenazó con cortar el suministro como respuesta a las críticas de Singapur hacia la política malaya.	Zachary, 1997
1998	Tajikistan	Instrumento político, terrorismo	En potencia, eventualmente	El 6 de noviembre el comandante guerrillero Makhmud Khudoberdyev amenazó con volar una presa en el cauce del Kairakkum, si no eran atendidas sus exigencias políticas. Esta información fue suministrada por la agencia de noticias ITAR-Tass.	WRR, 1998
1999	Lusaka, Zambia	Instrumento político, terrorismo	Sí	Un atentado destruyó la principal conducción que suministraba agua a la ciudad de Lusaka, con una población de 3 millones de personas.	FTGWR, 1999
1999	Yugoslavia	Objetivo militar	Sí	Las autoridades yugoslavas informaron que las fuerzas aéreas de la OTAN habían alcanzado una central hidroeléctrica durante la guerra de Kosovo.	Reuters, 1999 a
1999	Bangladesh	Instrumento político, desarrollo problemático	Sí	Hubo 50 heridos durante las movilizaciones que tuvieron lugar para protestar por los continuos cortes en el suministro de energía y agua. La protesta estuvo liderada por el anterior primer ministro Begum Khaleda Zia y fue contra el deterioro de los servicios públicos y por la ley y el orden.	Ahmed, 1999
1999	Yugoslavia	Objetivo militar	Sí	Las fuerzas de la OTAN atacaron las instalaciones de abastecimiento a Belgrado, interrumpiéndolo completamente. También bombardearon puentes sobre el Danubio obstruyendo la navegación.	Reuters 1999 b
1999	Yugoslavia	Objetivo político	Sí	Yugoslavia renunció a retirar los restos de los puentes que estaban en el río Danubio si no recibía apoyo financiero. Los países europeos situados aguas abajo mostraron su preocupación por el hecho de que se produjeran avenidas al romperse las obstrucciones de hielo – verdaderas presas –, que se formarían durante el invierno.	Simons 1999
1999	Kosovo	Objetivo político	Sí	Con anterioridad a la entrada de las fuerzas de la OTAN, ingenieros serbios cerraron el sistema de abastecimiento a Pristina.	Reuters 1999 c
1999	Angola	Objetivo político, terrorismo	Sí	Cien cadáveres fueron encontrados en cuatro pozos de abastecimiento en Angola Central.	International Herald Tribune, 1999
1999	Puerto Rico, Estados Unidos de Norteamérica	Objetivo político	No	Como protesta contra la presencia de las fuerzas armadas norteamericanas y la utilización por parte de la marina del río Blanco, manifestantes bloquearon la toma de agua a la base naval de Roosevelt Roads. Como resultado de esta acción se produjeron interrupciones en el suministro en poblaciones vecinas.	New York Times, 1999
1999	Timor Oriental	Objetivo militar, terrorismo	Sí	Las milicias armadas enfrentadas a las fuerzas independentistas de Timor Oriental arrojaron cadáveres de sus oponentes a pozos utilizados para abastecer agua.	BBC, 1999
1999	Kosovo	Objetivo político	Sí	Con anterioridad a la entrada de las fuerzas de la OTAN, ingenieros serbios cerraron el sistema de abastecimiento a Pristina.	Reuters 1999 c
1999	Angola	Objetivo político, terrorismo	Sí	Cien cadáveres fueron encontrados en cuatro pozos de abastecimiento en Angola Central.	International Herald Tribune, 1999
1999	Puerto Rico, Estados Unidos de Norteamérica	Objetivo político	No	Como protesta contra la presencia de las fuerzas armadas norteamericanas y la utilización por parte de la marina del río Blanco, manifestantes bloquearon la toma de agua a la base naval de Roosevelt Roads. Como resultado de esta acción se produjeron interrupciones en el suministro en poblaciones vecinas.	New York Times, 1999
1999	Timor Oriental	Objetivo militar, terrorismo	Sí	Las milicias armadas enfrentadas a las fuerzas independentistas de Timor Oriental arrojaron cadáveres de sus oponentes a pozos utilizados para abastecer agua.	BBC, 1999
1999	Kosovo	Instrumento político, terrorismo	Sí	Los serbios contaminaron las aguas provenientes de pozos al arrojar cadáveres de kosovares albaneses en pozos locales.	CNN, 1999
1999-2000	Namibia, Bostwana, Zambia	Objetivo militar	No	Disputas por diferencias fronterizas y acceso al agua en Sedudu/ isla de Kasikii, en la cuenca del río Zambezi/Chobe. Este asunto se presentó en el Tribunal Internacional de Justicia.	ICJ, 1999

**Tabla 52.- Cronología de conflictos del agua.** Peter Gleick, del Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security, 2000.

## **II.- Leyes relacionadas**

- Real Decreto 1138/1990, 14 Septiembre.

Por el que se aprueba la Reglamentación técnico-sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público. (Vigente hasta el 22 de febrero de 2003).

- Directiva Europea 98/83/CEE, 3 Noviembre.

Relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano.

- Directiva Europea 80/778/CEE, 15 Julio.

Relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano.

- Ley 29/1985, 2 Agosto, de Aguas.

- Real Decreto Ley 2/2004, 5 de Marzo.

Relativa a la ley reguladora de la haciendas locales.

- Directiva 92/43/CEE, de 21 de mayo de 1992.

Relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres.

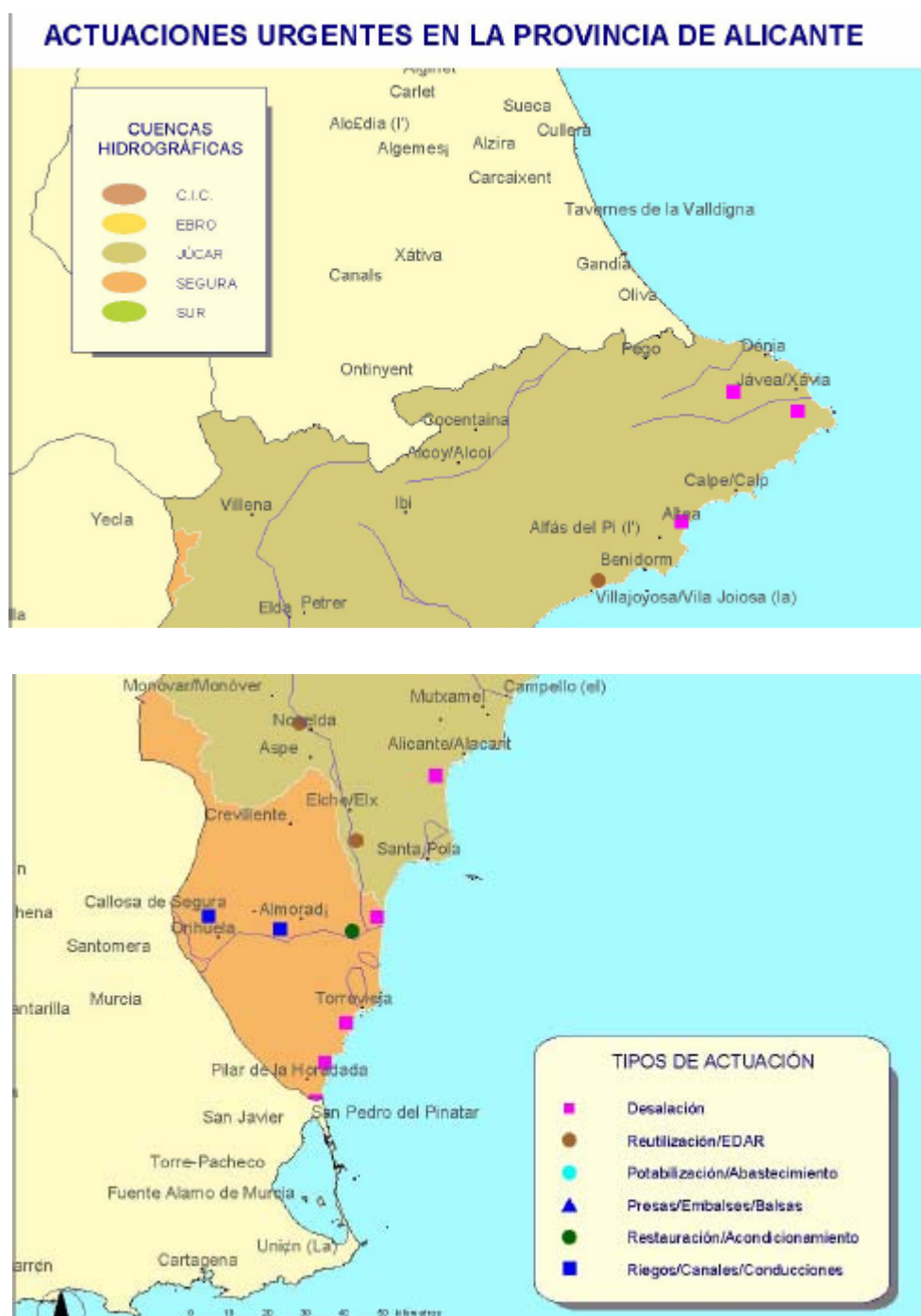
- Ley 11/2005, 22 Junio.

Plan Hidrológico Nacional.

- Ley 10/2001 5 Junio.

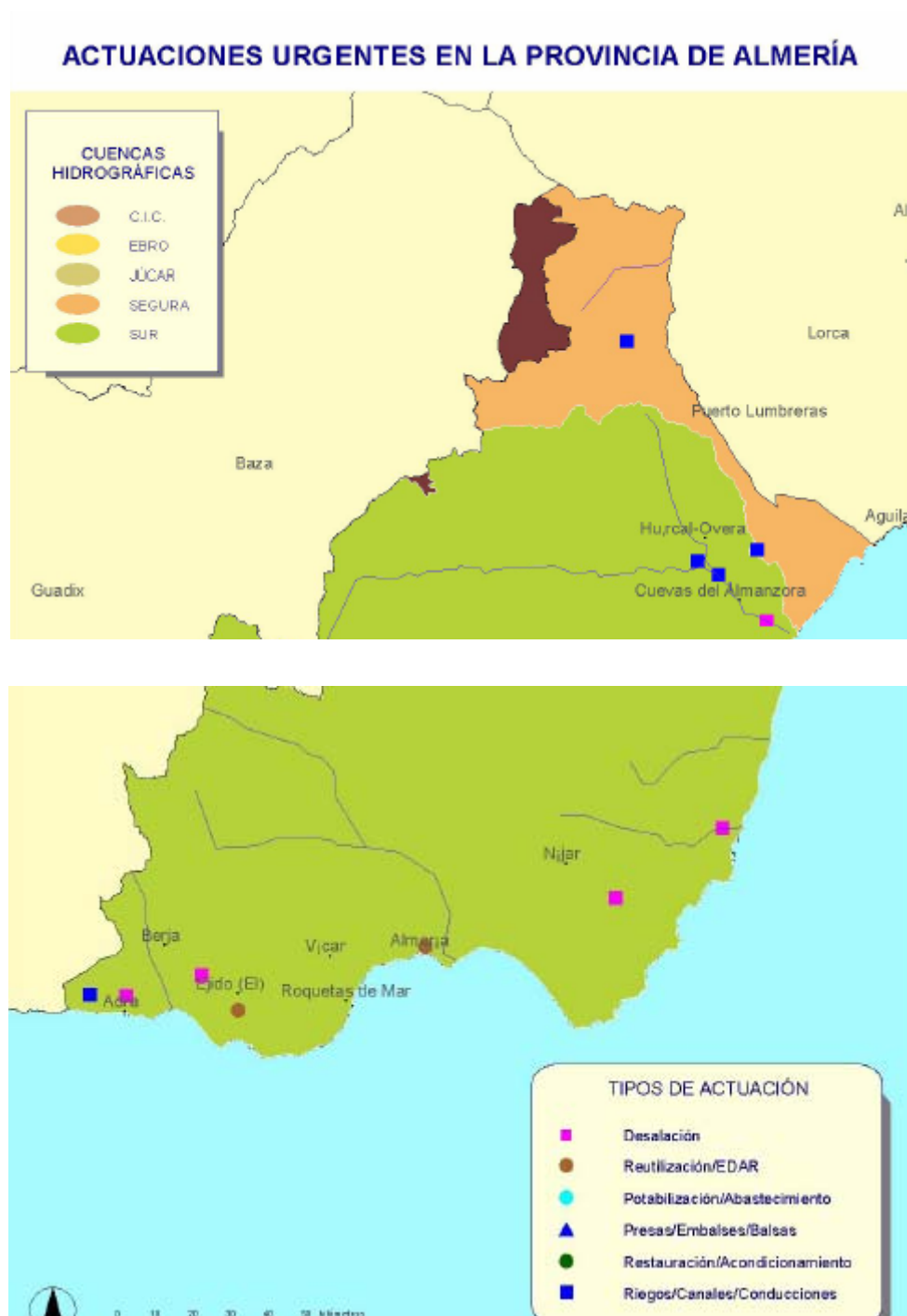
Plan Hidrológico Nacional.

### III.- Actuaciones urgentes en la Cuenca del Mediterráneo



CIC (conques internes de catalunya).

**Fig. 56.- Actuación en la provincia de Alicante.** Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006.



CIC (conques internes de catalunya).

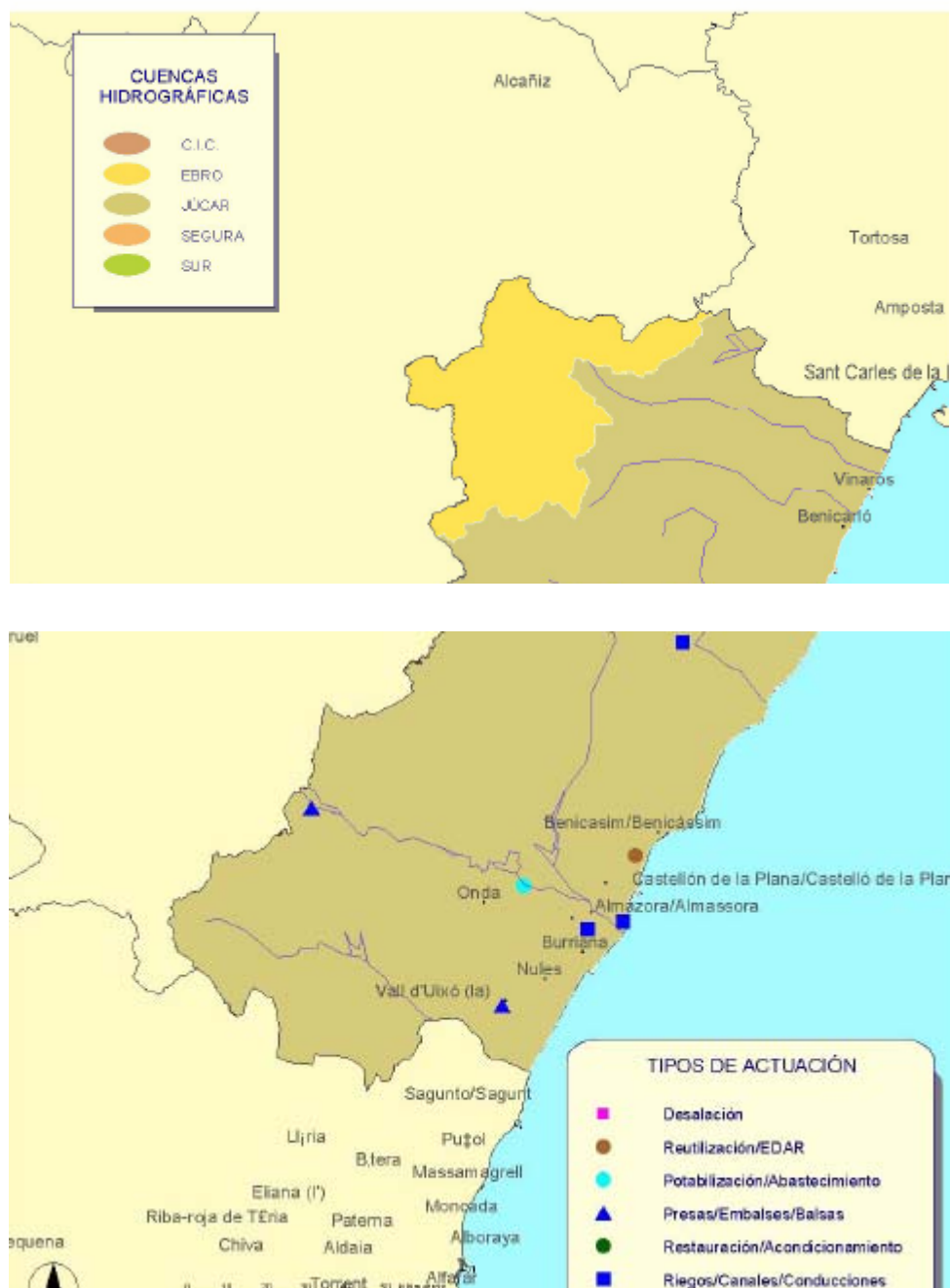
**Fig. 57.- Actuación en la provincia de Almería.** Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006.



CIC (conques internes de catalunya).

**Fig. 58.- Actuación en la provincia de Barcelona.** Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006.

## ACTUACIONES URGENTES EN LA PROVINCIA DE CASTELLÓN



CIC (conques internes de catalunya).

**Fig. 59.- Actuación en la provincia de Castellón.** Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006.

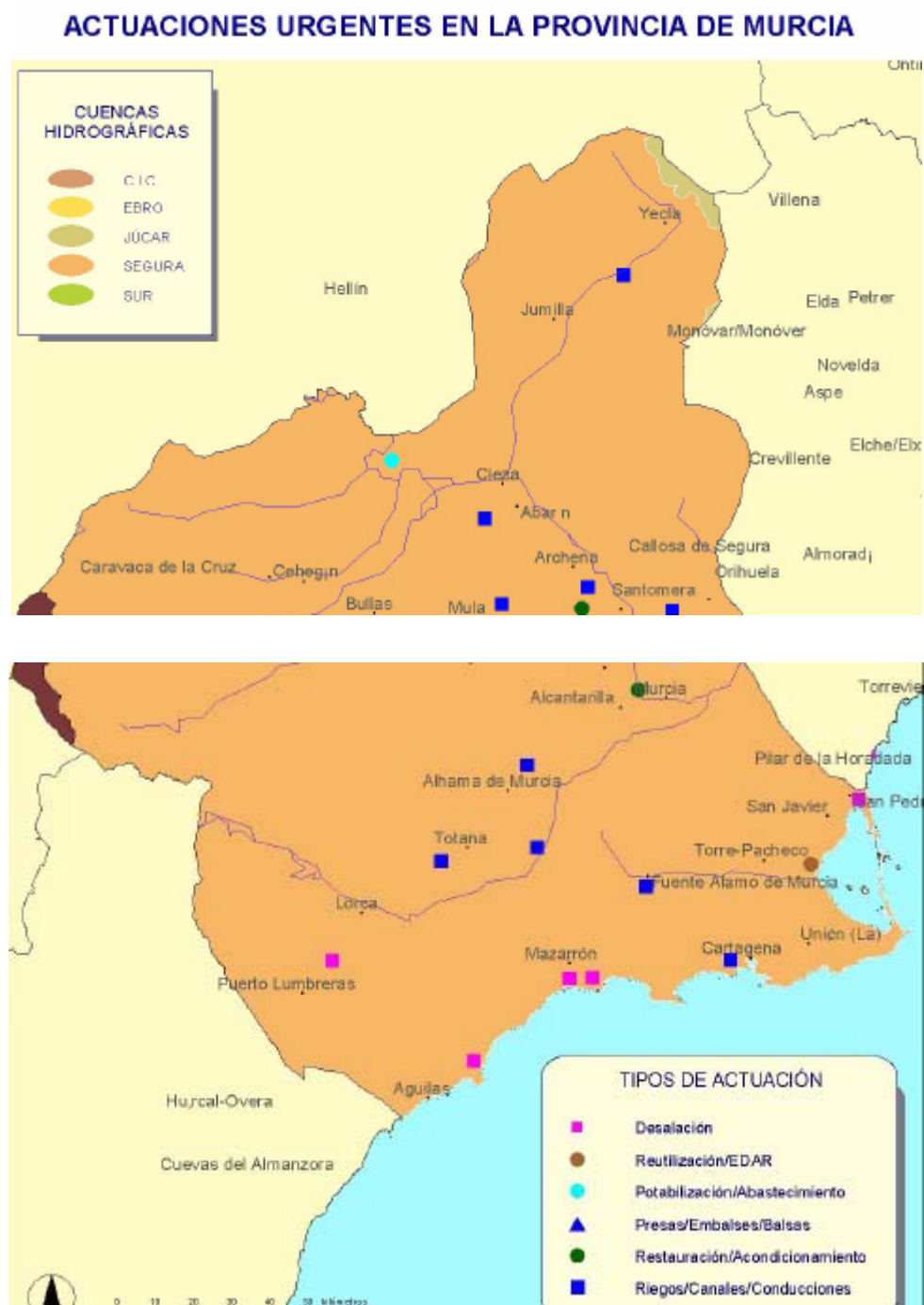




CIC (conques internes de catalunya).

**Fig. 60.- Actuación en la provincia de Gerona.** Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006.





CIC (conques internes de catalunya).

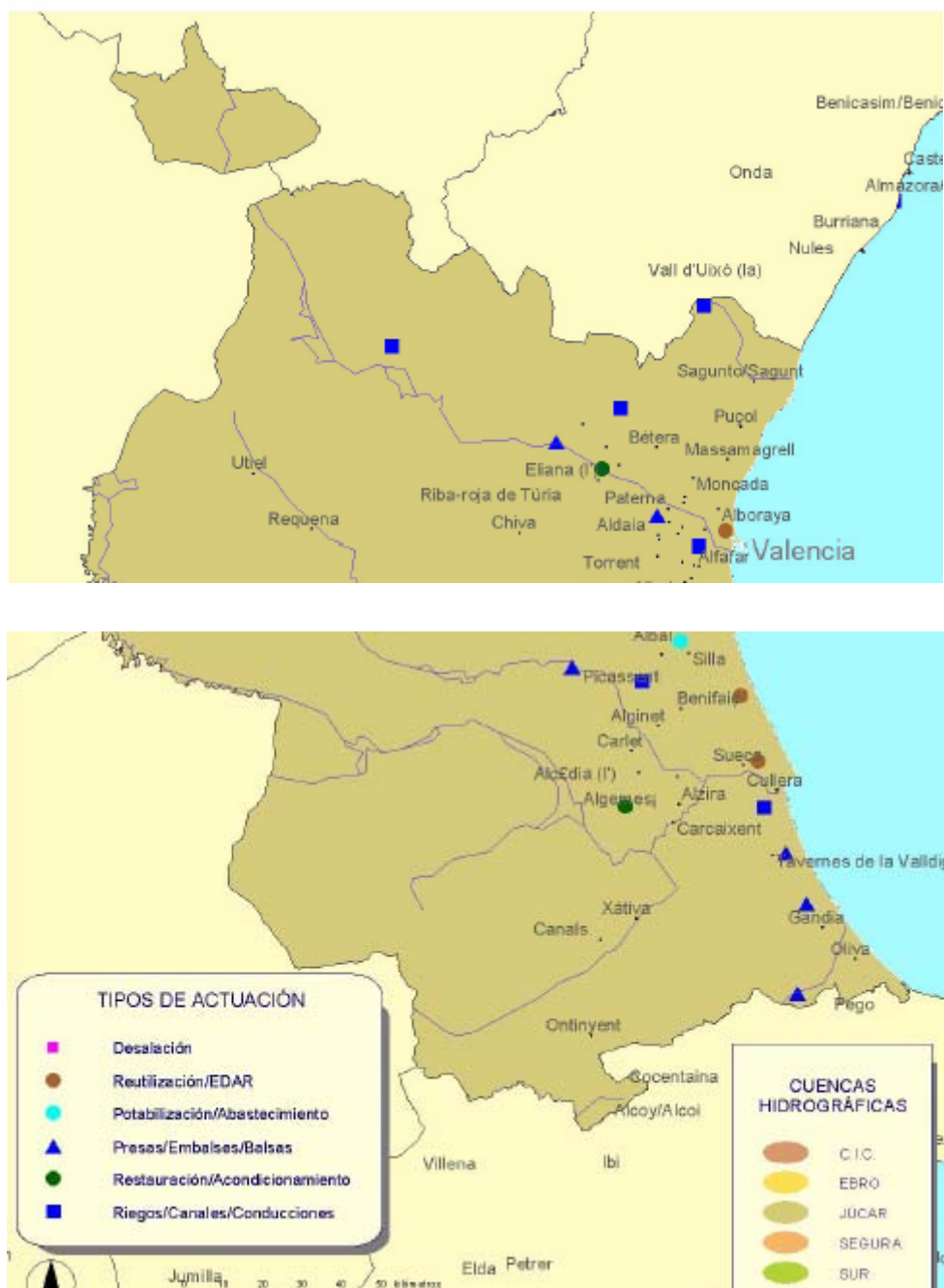
**Fig. 61.- Actuación en la provincia de Murcia.** Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006.



CIC (conques internes de catalunya).

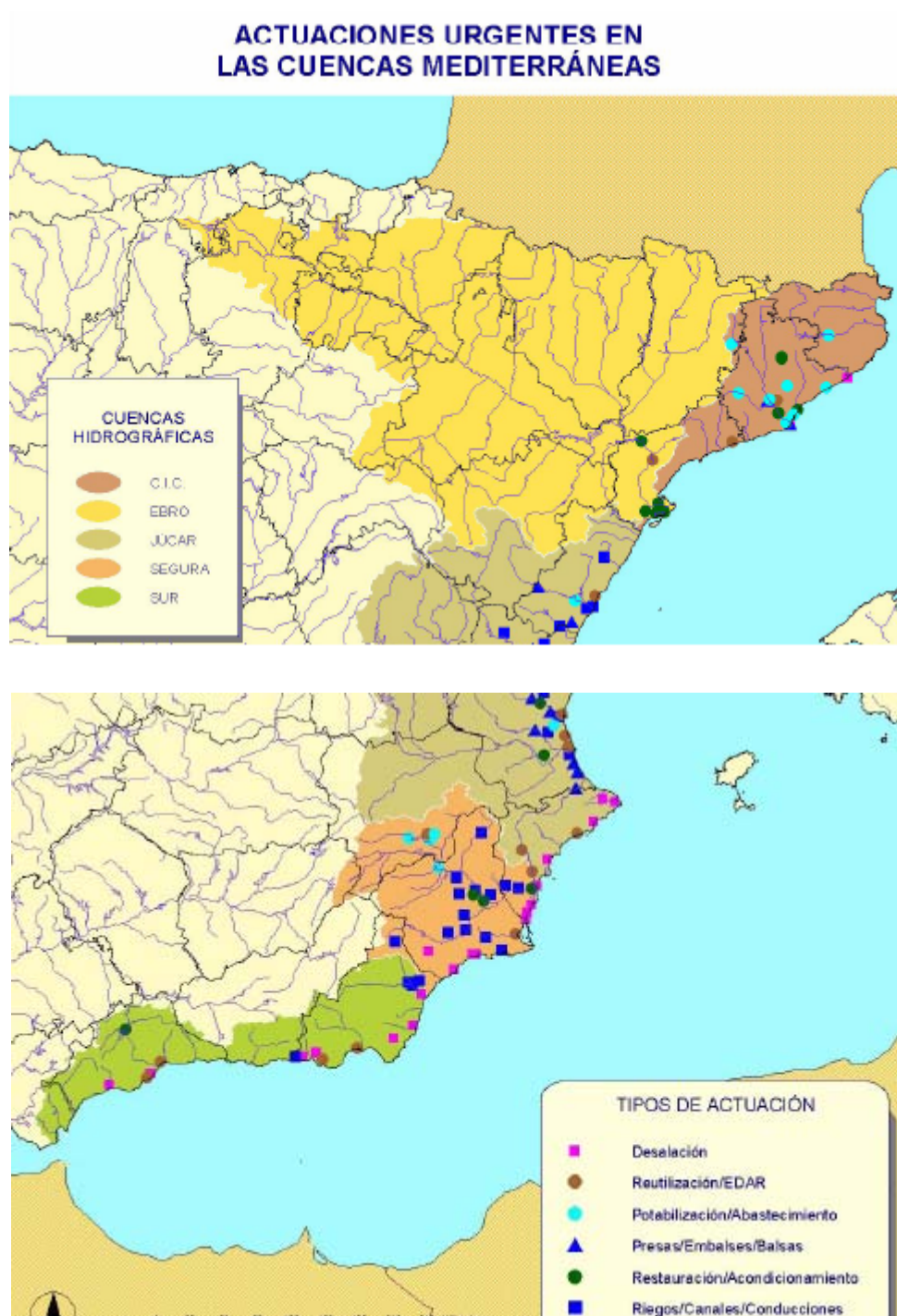
**Fig. 62.** - Actuación en la provincia Tarragona. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006.

## ACTUACIONES URGENTES EN LA PROVINCIA DE VALENCIA



CIC (conques internes de catalunya).

**Fig. 63.- Actuación en la provincia de Valencia.** Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006.

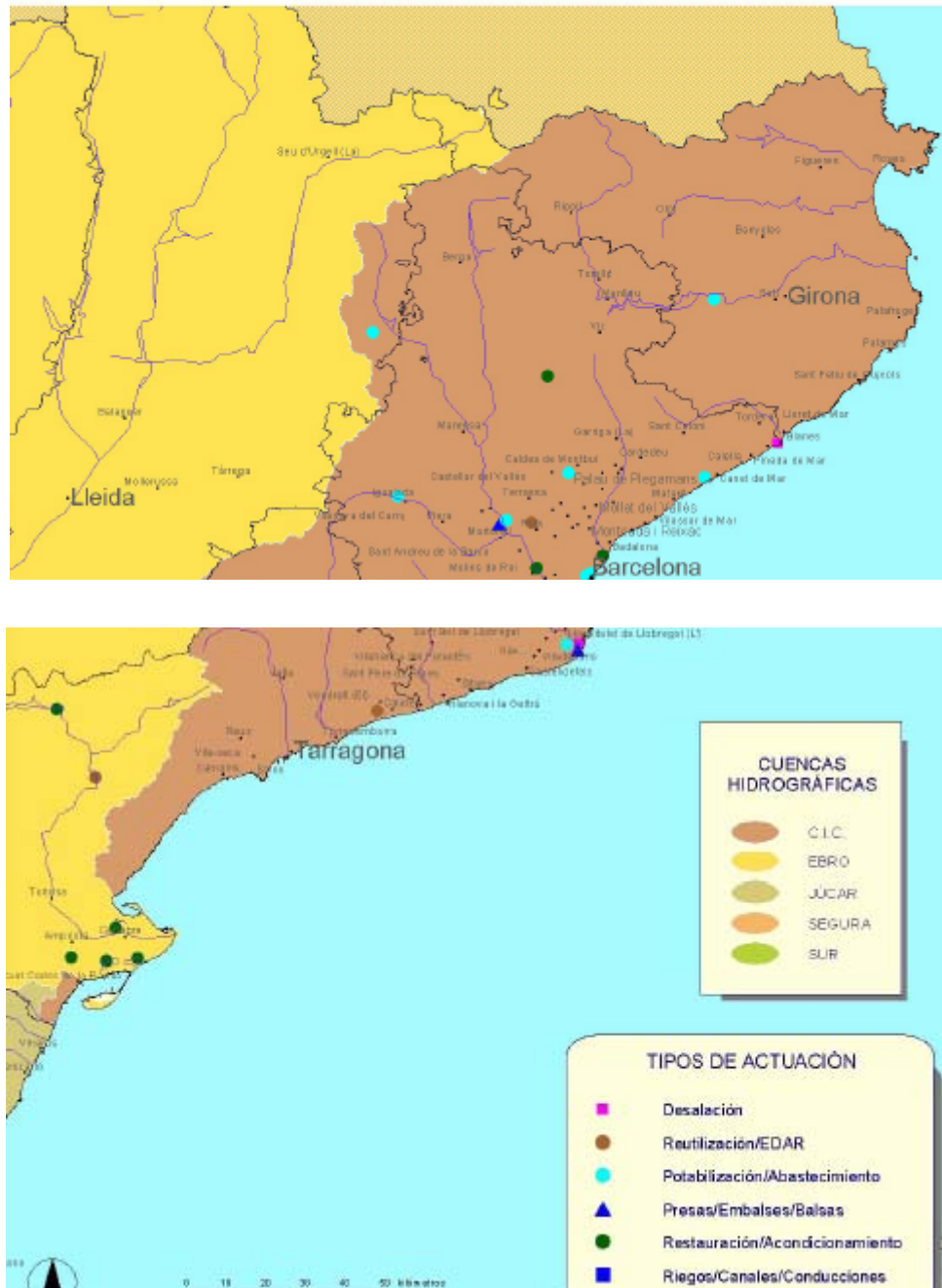


CIC (conques internes de catalunya).

**Fig. 64.- Actuación en las cuencas Mediterráneas.** Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006.

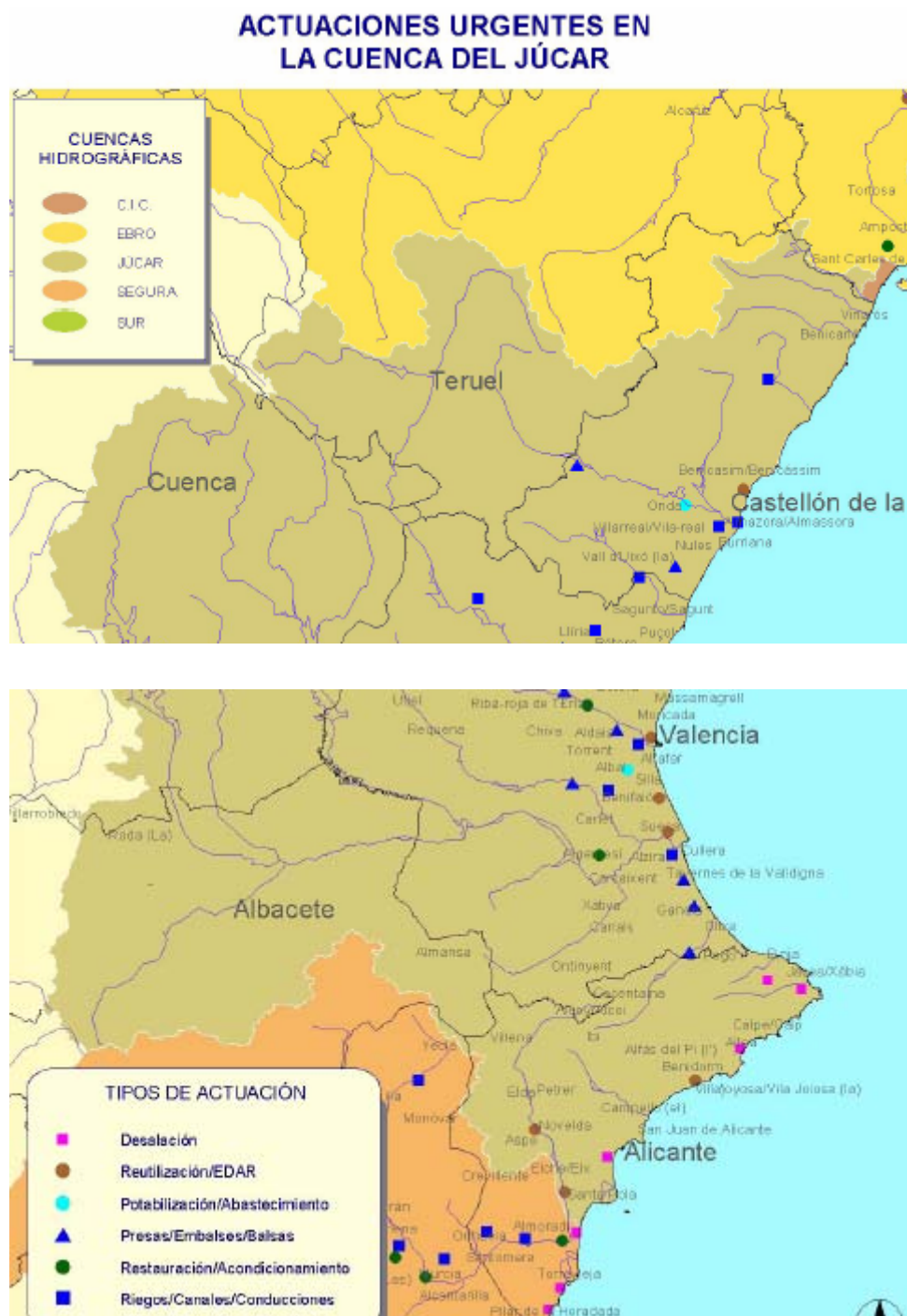


### ACTUACIONES URGENTES EN LAS CUENCAS INTERNAS DE CATALUÑA Y EBRO



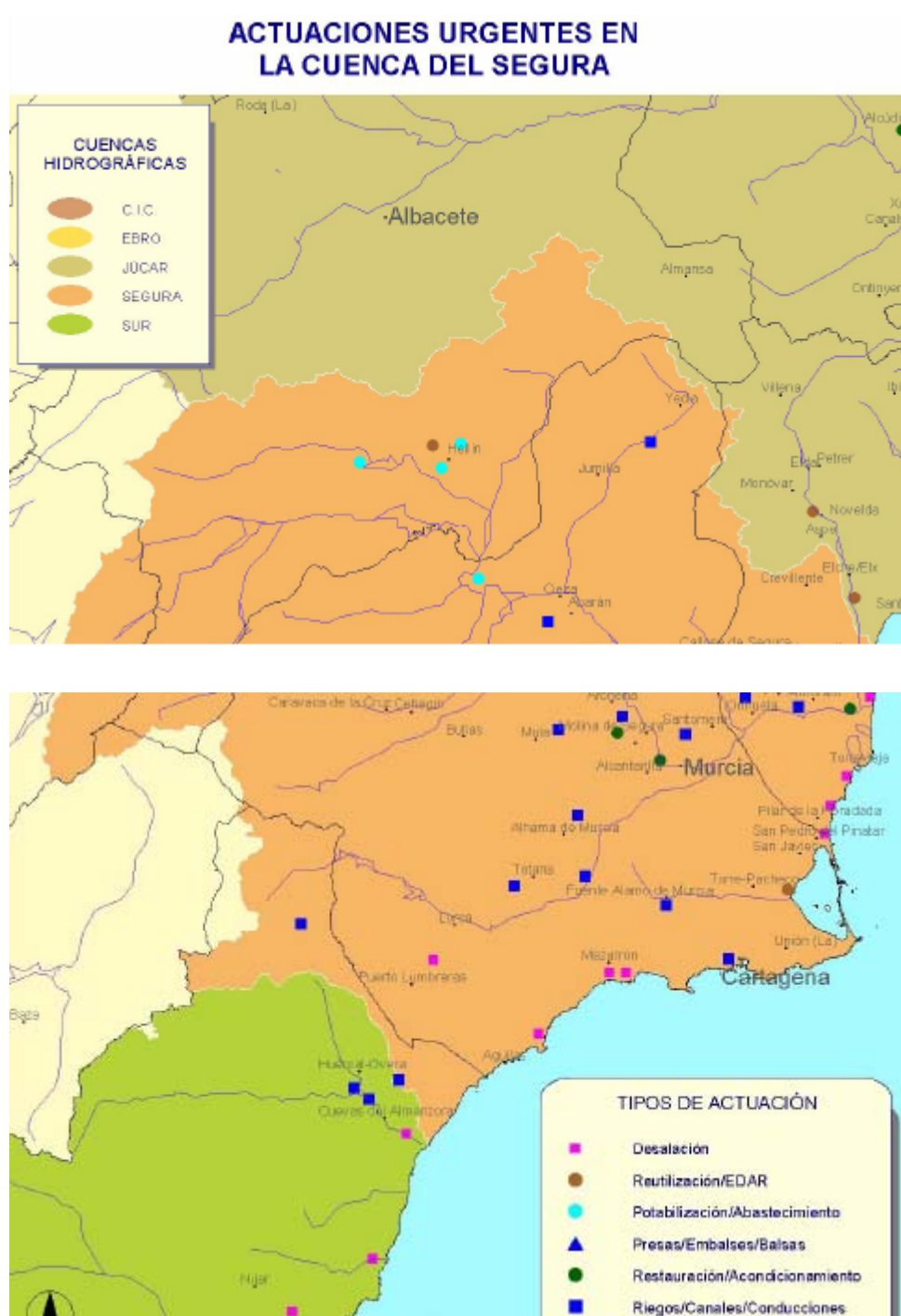
CIC (conques internes de catalunya).

**Fig. 65.-** Actuación en las cuencas internas de Cataluña y Ebro. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006.



CIC (conques internes de catalunya).

**Fig. 66.- Actuación en cuenca del Júcar.** Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006.



CIC (conques internes de catalunya).

**Fig. 67.-** Actuación en la cuenca del Segura. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006.

### ACTUACIONES URGENTES EN LA CUENCA DEL SUR



CIC (conques internes de catalunya).

**Fig. 68.- Actuación en cuenca del Sur.** Fuente: Ministerio de Medio Ambiente, 2006.



